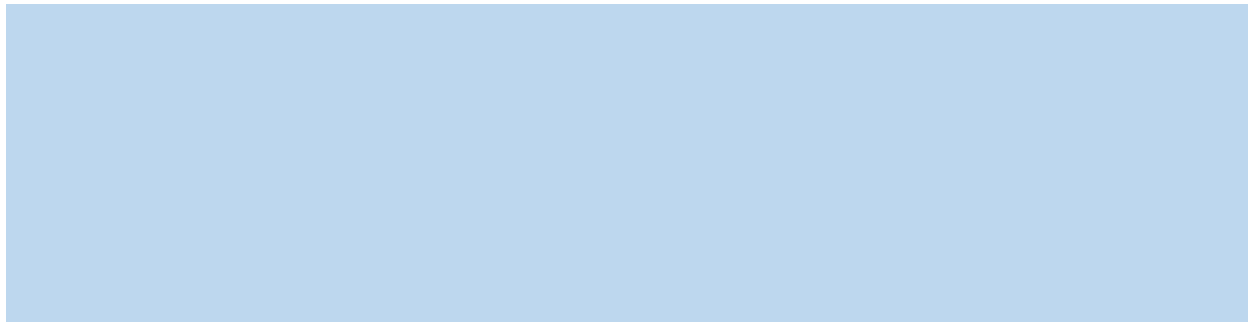


Rol actual y futuro de la ciencia en la innovación industrial y el crecimiento económico en Argentina.

Recomendaciones para impulsar crecimiento económico sustentable en el mundo actual.



Fernando D. Stefani

Agosto de 2018

Fernando D. Stefani

Investigador Principal CONICET

Profesor de Física Experimental, FCEN-UBA

<http://www.nano.df.uba.ar/es/>

Contenidos

Prólogo

Resumen ejecutivo

Capítulo 1. Introducción. Alcance y objetivo de este reporte.

Capítulo 2. Correlación actual entre crecimiento económico e inversión en I+D.

Capítulo 3. Mecanismos y tiempos para la innovación industrial.

Capítulo 4. Del descubrimiento a la innovación industrial. Instituciones intermedias para la innovación industrial.

Capítulo 5. I+D en Argentina en el contexto internacional.

Capítulo 6. Características de una inversión competitiva en I+D. Perspectivas de aumento del financiamiento en I+D en Argentina.

Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones para el futuro (cercano).

Agradecimientos

Anexo. Evolución presupuestaria 2009 – 2018 de la función Ciencia y Técnica del presupuesto nacional, y de las principales instituciones del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.

Prólogo

Por Fernando D. Stefani

Que la ciencia, el conocimiento y la tecnología son claves para el desarrollo y la prosperidad es algo evidente en la historia de la humanidad desde sus comienzos. Hoy en día numerosos estudios ubican a la ciencia y a la innovación en el corazón de las estrategias para un crecimiento económico sustentable de largo plazo.

Aunque parezca una obviedad, es necesario volver a remarcar este punto. Aún hoy existe en algunos sectores de nuestra sociedad la creencia de que los países desarrollados invierten en investigaciones científicas y desarrollos tecnológicos (I+D) simplemente porque les “sobra dinero”. Pero la realidad es muy diferente. Los países desarrollados compiten entre sí en una carrera por transformar hallazgos científicos en éxitos económicos. Esta carrera por la innovación es un proceso continuo en el que la meta siempre se corre hacia el futuro.

En el pasado, la ciencia era la herramienta para obtener tecnologías que permitieran sortear los desafíos que impone la naturaleza. Hoy, la ciencia se hace necesaria además para resolver serias problemáticas que enfrenta la humanidad fruto mismo del desarrollo tecnológico, como el cambio climático, el abastecimiento energético, una población mundial creciente y envejecida, el futuro del trabajo en perspectiva de la industria 4.0, una potencial resistencia global a los antibióticos, por mencionar sólo algunos. En este contexto, el siglo XXI se abre como una época de rápidas innovaciones tecnológicas donde los

productos y servicios con alto contenido tecnológico tienen cada vez más demanda en un número creciente de mercados globales abiertos y altamente competitivos.

Los recursos naturales (incluidos la agricultura y la ganadería) le otorgan a la Argentina una ventaja comparativa importante frente a otros países rezagados. Pero nuestra economía actual, basada prioritariamente en su explotación primaria, no es suficiente para proveer de trabajo y bienestar a toda la población. Además, es frágil, vulnerable a factores externos como el clima y fluctuaciones de precios internacionales. Y más importante aún, pierde valor año tras año frente a productos y servicios de base tecnológica.

Ante la ausencia de un proyecto de desarrollo propio, Argentina termina ocupando en el mundo un rol dispuesto a conveniencia de los países centrales, donde las actividades económicas no incluyen el dominio de ninguna tecnología propia ni la capacidad de innovación. La economía en base a actividades extractivas, agricultura y ganadería, industrias y servicios dependientes de tecnologías extranjeras, y turismo, no permite garantizar el crecimiento económico sustentable.

La idea de incorporar a la economía argentina actividades de mayor valor agregado con tecnologías propias ha estado presente de manera intermitente en nuestra historia, por ejemplo durante las primeras presidencias de Juan Domingo Perón, la de Arturo Frondizi y el proyecto de Aldo Ferrer durante las presidencias de facto de Roberto

Levingston y Alejandro Lanusse. La última reactivación de este concepto se dio durante las presidencias de Néstor Kirchner y Cristina Fernández de Kirchner, durante las cuales se instaló en el discurso político la idea de transformar la economía argentina hacia una economía basada en el conocimiento. Entre las acciones que se realizaron en este sentido se destacan la creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva y la revitalización de las instituciones del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología que se encontraban al borde del colapso. Se concibió con amplio consenso un plan estratégico de mediano plazo, el Plan Argentina Innovadora 2020, el cual se ejecutó parcialmente

A pesar de esto, la matriz productiva argentina no fue modificada significativamente. ¿Por qué? fue la pregunta que me hizo Omar Perotti, Senador Nacional por la Provincia de Santa Fe, en 2016 a poco de asumir su mandato y la presidencia de la Comisión de Ciencia y Tecnología del Honorable Senado de la Nación.

Como respuesta a esa pregunta nace este informe, que intenta aclarar para un público general algunas confusiones frecuentes en nuestra sociedad sobre la vinculación entre la investigación científica, la innovación industrial y su impacto en el crecimiento económico.

Aquí se explican los mecanismos mediante los cuales la I+D impacta en la economía, como es el proceso completo desde un hallazgo científico hasta una innovación industrial, y el rol que cumplen en éste los

científicos, las empresas, y las instituciones intermedias. Asimismo, se demuestra que Argentina nunca ha intentado seriamente encarar un proceso de desarrollo en base a I+D. Las falencias esenciales han sido: i) una inversión global interrumpida y siempre por debajo de los niveles competitivos, ii) la falta de instituciones intermedias de innovación industrial enfocadas en oportunidades comerciales del futuro, y iii) la ausencia de un plan de desarrollo económico-tecnológico a futuro e instrumentos de fomento sostenidos para la inversión privada en I+D en los sectores clave.

La reciente revitalización del sistema científico-tecnológico nacional puso a Argentina en una posición de ventaja comparativa a nivel regional. Este elemento esencial, pre-requisito para encarar un proceso de desarrollo, se encuentra hoy nuevamente en riesgo debido a fuertes recortes presupuestarios, e incluso el desmantelamiento del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

Nuestro país tiene toda la capacidad para desplegar su economía y crecer de manera sustentable en el largo plazo en base a ciencia, tecnología e innovación industrial.

Es mi deseo que la información y recomendaciones de este reporte inspiren discusiones profundas, que ayuden a establecer el consenso y las políticas de Estado necesarias para encarar el camino hacia el desarrollo.

Resumen ejecutivo

En la actualidad, la innovación industrial es altamente competitiva y se encuentra en el centro de las estrategias de crecimiento económico sustentable de los países desarrollados.

La inversión de Argentina en I+D ha estado históricamente muy por debajo de los niveles competitivos internacionalmente.

En la actualidad se invierte 0,6 % del PBI en I+D, un factor 5 por debajo de lo que invierten los países desarrollados. Además, esta inversión se aumenta a un ritmo demasiado lento. En los últimos 20 años Argentina ha incrementado su inversión en I+D a un ritmo de 0,01 %PBI/año. Los países desarrollados lo hacen tres veces más rápido. EEUU lo hace a un ritmo de 0,02 %PBI/año, mientras que Alemania al 0,04 %PBI/año. En consecuencia, la brecha tecnológica entre nuestro país y los países desarrollados aumenta año a año.

En el mundo actual, los mercados de alto contenido tecnológico son los de mayor valor agregado y los que crecen más rápidamente. En consecuencia, la brecha tecnológica se traduce en una brecha de crecimiento económico y bienestar. El aumento de la brecha tecnológica pone en serio riesgo la competitividad a futuro de Argentina y sus perspectivas de prosperidad.

Para alcanzar los niveles competitivos de inversión, los países que se han desarrollado en el último siglo, como Israel o Corea del Sur, incrementaron su inversión en I+D a un ritmo promedio de 0,1 % PBI/año durante

20 - 30 años. China, otro ejemplo de país que está en medio de un proceso de desarrollo de su economía en base a I+D, incrementa su inversión en el sector de manera sostenida, a un ritmo de 0,08 % PBI/año desde 1995.

La investigación científica, los desarrollos tecnológicos y su articulación requieren trabajo continuo y transmisión de conocimiento de generación en generación.

Si Argentina se decide en serio a expandir su economía en base a conocimiento, necesita establecer políticas de Estado e inversiones públicas sostenidas en el tiempo para garantizar el funcionamiento sostenido en el tiempo de los tres eslabones elementales de la innovación industrial:

- 1) El sistema de investigación básica debe mejorarse hasta alcanzar niveles de excelencia a nivel internacional en un amplio espectro de disciplinas. En este sentido Argentina tiene claras ventajas competitivas a nivel regional. Si bien nuestro sistema científico es todavía pequeño y tiene falencias de funcionamiento, cuenta con investigadores del máximo nivel internacional y es capaz de generar especialistas en varias disciplinas. Si bien los esfuerzos de innovación deben enfocarse en los sectores donde Argentina prevé las mejores oportunidades económicas a futuro, este escenario será cambiante. Por ese motivo es esencial mantener una cierta masa crítica de investigadores en todas las ramas del conocimiento.

- 2) Se debe identificar, apoyar y fomentar el desarrollo de áreas industriales que tengan la capacidad de incorporar una fracción significativa de actividades de alto valor

agregado con ventajas comparativas a nivel internacional y regional. Argentina tiene que expandir el menú de instrumentos de fomento de la inversión privada en I+D. Los programas que se han aplicado hasta ahora no han tenido la magnitud ni la agilidad necesarias para impulsar nuevos proyectos de innovación industrial a un velocidad competitiva internacionalmente. La enorme mayoría de estos instrumentos fue destinada a mejorar productos o procesos con tecnologías existentes o análogas a ya existentes. Es necesario correr esta frontera hacia el futuro.

3) Para cerrar la brecha entre la investigación científica y la industria, es necesario modernizar y fortalecer las instituciones intermedias existentes. Las instituciones de desarrollo industrial (p.e. INTI, ITA, INIDEP) deben actualizarse y acompañar a las empresas a funcionar con las últimas tecnologías en su área. Además, deben establecer departamentos especializados en innovación industrial enfocados en ramas industriales o cadenas productivas específicas definidas en base a las mejores oportunidades comerciales futuras a nivel internacional. Los centros o departamentos de innovación tendrán la función de acompañar a las industrias en procesos de innovación con el objetivo de convertir hallazgos de la investigación básica en productos o servicios de alto valor agregado en el futuro cercano. Una función clave será regular la inversión de acuerdo con la madurez de las nuevas tecnologías y las oportunidades de mercado, y de este modo morigeran los riesgos. En ellas debe conjugarse conocimiento científico, tecnológico, ingenieril, de fabricación,

logística, mercadeo y comercialización, de inversión y captación de capitales. Este es el aspecto menos desarrollado en el país. Actualmente no existen departamentos o centros competitivos de innovación que mantengan una mirada enfocada en negocios futuros y sean competitivos. Este rol clave se delega de manera ineficiente en investigadores o emprendedores individuales, o pequeñas incubadoras.

El nivel de inversión y actividad en estas tres actividades debe ser acorde a lo que imponen los otros competidores en el mundo de hoy. No se puede innovar más lento. No sirve, se llega tarde. Por eso es clave establecer niveles y tasas de crecimiento de la inversión en I+D públicos adecuados. En base a la comparativa internacional, Argentina debe incrementar su inversión global en I+D a un ritmo de 0,1 - 0,3 %PBI/año. La componente privada de esta inversión solo se establece de modo significativo y estable luego de 10 – 20 años de políticas públicas de innovación e instrumentos efectivos de fomento a la inversión privada en I+D.

También es clave establecer estrategias a futuro en las áreas definidas para innovar. Al buscar oportunidades de innovación industrial a corto plazo, lo más probable es que se llegue tarde. En la carrera por la innovación es clave hacer apuestas a futuro para sustentar el crecimiento económico. Estas estrategias deben revisarse y adaptarse regularmente cada 6-10 años, sin comprometer la continuidad de la actividad científica e innovadora.

Capítulo 1

Introducción y alcance

En el mundo de hoy, las capacidades en ciencia y tecnología son determinantes para el funcionamiento y desarrollo de nuestras sociedades, con implicancias que abarcan a la educación, la salud, la formación cívica, la resolución de problemáticas sociales, la toma de decisiones políticas fundamentadas en evidencias, y la gestión pública. Este informe se centra en otro aspecto, el crecimiento económico sustentable.

Numerosos estudios internacionales ubican a la ciencia y a la innovación en el corazón de las estrategias actuales para un crecimiento económico de largo plazo y sustentable; ver por ejemplo [1-3]. También ha sido demostrado que es posible transformar y expandir la economía de un país en base a investigación científica y desarrollo tecnológico (I+D). Una manera directa de visualizarlo es a través de los procesos llevados adelante por los países o estados que han desarrollado su economía de este modo en las décadas recientes, con variables económicas monitoreadas en toda su evolución. Ejemplos destacados son Corea del Sur [4], Israel [5-7], Noruega [8-9] y el Estado de San Pablo (Brasil) [10-11]. Otro ejemplo, en un estadio más temprano, es el proceso que viene desarrollando China desde hace al menos 30 años [12-13].

A lo largo de la historia argentina la idea de un desarrollo económico en base a I+D ha estado presente de manera intermitente, casi esporádica, generalmente en períodos

subsecuentes a crisis generadas por el modelo de explotación primaria de la agricultura y recursos naturales [14-15], que ha demostrado, ya a esta altura en reiteradas oportunidades, ser insuficiente.

En lo más reciente, luego de la breve intervención de Aldo Ferrer a comienzos de los 1970, sobrevino un largo período, hasta 2003, donde la ciencia y la tecnología locales fueron nuevamente desvinculadas de la economía. Durante las presidencias de Néstor Kirchner y de Cristina Fernández de Kirchner, se retomó el concepto de impulsar desarrollo económico en base a I+D local y la expansión del mercado interno y regional. En el discurso político, se aludió consistentemente a la intención de transformar la economía argentina hacia una economía basada en el conocimiento.

Durante esta etapa se revitalizaron las instituciones del Sistema Nacional De Ciencia y Tecnología y se tejieron redes de interacción entre ellas, se actualizó parcialmente la deteriorada infraestructura, y se posicionó a la ciencia y la tecnología en un lugar de importancia para el país. Se consiguió ensamblar algunos ecosistemas productivos de alto contenido tecnológico, como fueron los casos de las industrias nucleares y satelitales. Sin embargo, la inversión global de Argentina en I+D se mantuvo en niveles por debajo de los competitivos a nivel internacional y la matriz productiva no llegó a modificarse significativamente.

En 2015, la ciencia y la tecnología fueron temas incluidos con importancia en la campaña electoral. Los dos candidatos finalistas a la presidencia manifestaron una visión que implicaba impulsar el desarrollo económico en base al conocimiento. Daniel Scioli declaró que elevaría la inversión en I+D al 1% del PBI, mientras que Mauricio Macri, más acorde a las recomendaciones internacionales, publicó un documento donde declaraba la intención de impulsar la generación de conocimiento y la transferencia de tecnología a la industria, incluyendo un aumento de la inversión en I+D hasta llevarla al 1,5 % del PBI. Estos hechos indican que la sociedad argentina está asimilando la importancia de la I+D en la economía y el bienestar.

Asimismo, una de las primeras medidas de gobierno de Mauricio Macri fue mantener al Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, el Dr. Lino Barañao, prometiendo la continuidad de programas, equipos de trabajo y asignaciones presupuestarias. Sin embargo, durante los 30 meses de gobierno, el rumbo ha sido el opuesto. La inversión pública destinada a ciencia y tecnología se ha ido reduciendo de manera sistemática en valor real llevándola a niveles inferiores a los de 8 años atrás (ver Anexo), se han desfinanciado y discontinuado programas de investigación y de formación de recursos humanos, los incipientes ecosistemas tecnológico-productivos como el nuclear y el satelital fueron desensamblados, y no se han implementado políticas que impulsen la inversión privada I+D de manera significativa.

Este retroceso no es solo preocupante para el sistema científico argentino sino para toda su sociedad. La brecha científico-tecnológica entre Argentina y los países desarrollados se ha ido incrementando desde hace casi un siglo. Esto compromete seriamente las posibilidades a futuro de crecimiento económico y bienestar social, en un mundo donde los mercados de servicios y productos tecnológicos crecen y predominan en la economía global.

Hoy en día, la ciencia y la tecnología se encuentran en el centro de las posibles soluciones no solo de desafíos naturales, como en el pasado, sino también de problemáticas generadas por la propia tecnología, como el cambio climático, una creciente y envejecida población, o el advenimiento de la industria 4.0, por mencionar solo algunos. En este contexto Argentina se encuentra muy atrasada y el bienestar futuro de su población está en serio riesgo. Nuestro país necesita urgentemente diagramar y aplicar de manera estable en el tiempo políticas de Estado en ciencia, tecnología e innovación industrial.

En este reporte está confeccionado con el objetivo de explicar de manera simple pero rigurosa:

- la magnitud de la correlación entre inversión en I+D y crecimiento económico (capítulo 2)
- los mecanismos esenciales mediante los cuales la I+D impacta en la economía (capítulo 3).
- cómo son los procesos de desarrollo desde el hallazgo científico hasta la

comercialización. Cuáles son los roles en este proceso de la investigación científica, de las empresas e industrias, y de las instituciones intermedias. Cómo se distribuye la inversión en I+D entre estos actores, y cómo se monitorea el proceso en la etapa intermedia para optimizar la inversión (capítulo 4).

- cuál es la magnitud y la tasa de crecimiento de la inversión actual de Argentina en I+D, en el contexto global (capítulo 5).

- cuál es la magnitud y la tasa de crecimiento de la inversión en I+D que Argentina debería

aplicar para inducir un proceso competitivo de desarrollo en base a I+D. La perspectiva de aumento de esta inversión según el Proyecto de Ley con media sanción del Senado. La capacidad de nuestro país de encarar esta inversión (capítulo 6).

Finalmente, se presentan conclusiones y recomendaciones para comenzar a diagramar una política de desarrollo económico sustentable a futuro verdaderamente competitiva.

[1] “UNESCO Science Report - Towards 2030”. UNESCO, 2015.

[2] “Innovation for Development”. OECD, 2009.

[3] “Innovation and Growth: Rationale for an Innovation Strategy”. OECD, 2007.

[4] “Corea Como Una Economía Del Conocimiento. Proceso Evolutivo Y Enseñanzas”. Banco Mundial en coedición con Mayol Ediciones S.A., Washington, 2008

[5] “Innovation and Technology Development in Israel”. Research Office of the Legislative Council Secretariat of Hong Kong, 2017.

[6] Mark Broude et al., “Defence, innovation and development: the case of Israel”. *Journal of Innovation Economics & Management* 2 (2013) 37-57.

[7] Dan Breznitz, “Diffusion of Academic R&D Capabilities as an Industrial Innovation Policy? - The Development of Israel’s IT Industry”. MIT-IPC-04-006

[8] Ole Andreas H. Engen, “The development of the Norwegian Petroleum Innovation System: A historical overview”. University of Stavanger, TIK Working paper on Innovation Studies No. 20070605.

[9] Magnus Gulbrandsen and Lars Nerdrum, “Public sector research and industrial innovation in Norway: a historical perspective”. NIFU STEP, Oslo. TIK Working paper on Innovation Studies No. 20070602.

[10] “Science, technology & innovation indicators in the State of São Paulo / Brazil – 2010”. FAPESP, 2011

[11] “São Paulo Research Foundation – 2015 Annual Activity Report”. FAPESP, 2015.

[12] “Made in China 2025: global ambitions based on local protections”. United States Chamber of Commerce, 2017.

[13] “China Manufacturing 2025 - Putting Industrial Policy Ahead of Market Forces”. European Union Chamber of Commerce in China, 2017.

[14] “Ruptura y Reconstrucción de la Ciencia Argentina”. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, 2010.

[15] Diego Hurtado, “La ciencia argentina. Un proyecto inconcluso: 1930-2000”. Editorial EDHASA; Ciudad de Buenos Aires; 2010.

[16] Mario Albornoz y Ariel Gordon, “La política de ciencia y tecnología en Argentina desde la recuperación de la democracia (1983 – 2009)” en, Mario Albornoz y Jesús Sebastián (Eds.) *Trayectorias de las políticas científicas y universitarias de Argentina y España*, CSIC, Madrid, 2011.

Capítulo 2

Correlación actual entre desarrollo económico e inversión en I+D

Que el desarrollo económico y el bienestar están ligados de modo directo al dominio de la ciencia y la tecnología es un hecho que atraviesa a la historia de la humanidad desde sus comienzos, pero hoy en día es más evidente que nunca. La alta tecnología está presente en cada producto y servicio que utilizamos: telefonía celular e internet, transporte, equipamiento médico, alimentos, medicamentos, dispositivos hogareños, deportes y entretenimiento, por mencionar algunos.

La importancia vital de la competencia tecnológica en la economía capitalista ha estado presente desde las teorías “clásicas” de Smith, Marx, List y Schumpeter. Luego, este concepto fue desarrollado de modo intermitente por los economistas teóricos de las décadas del 1950 y principios de los 1960, hasta que se comenzaron a formular las llamadas teorías de comercio neo-tecnológicas, que enfatizaron la importancia de las diferencias en capacidad tecnológica entre países. Una buena revisión de este proceso fue realizada por Dosi y Soete [1].

En 1961, Posner realizó un trabajo pionero y clave en este sentido [2]. Su razonamiento

puede exponerse claramente en un modelo de dos países, donde uno es más innovador y lidera los avances tecnológicos. Este país, al generar una nueva tecnología disfruta temporariamente de un monopolio. A medida que transcurre el tiempo, el otro país copiará esa tecnología o desarrollará una análoga, y se establecerá una competencia entre los países.

Generalmente, el nivel de ingresos en el país que lidera la tecnología será mayor, y la diferencia con el nivel de ingresos del país rezagado será proporcional a la brecha tecnológica (medida por ejemplo como el tiempo que necesita el otro país para imitar las innovaciones del líder). En este contexto, la clave para sostener la posición de liderazgo es la reinversión de las ganancias para seguir generando nuevas tecnologías.

Más recientemente, Fagerberg y colaboradores han estudiado en profundidad la relación entre avances tecnológicos, competitividad y desarrollo económico [3–5]. Sus trabajos se centran en establecer y poner a prueba modelos que expliquen la dependencia entre el crecimiento económico, usualmente expresado en PBI per cápita, y diversos aspectos de competitividad tecnológica. Estos estudios han demostrado el rol clave que tienen las actividades de I+D y las regulaciones de negocios en el desarrollo económico [6,7].

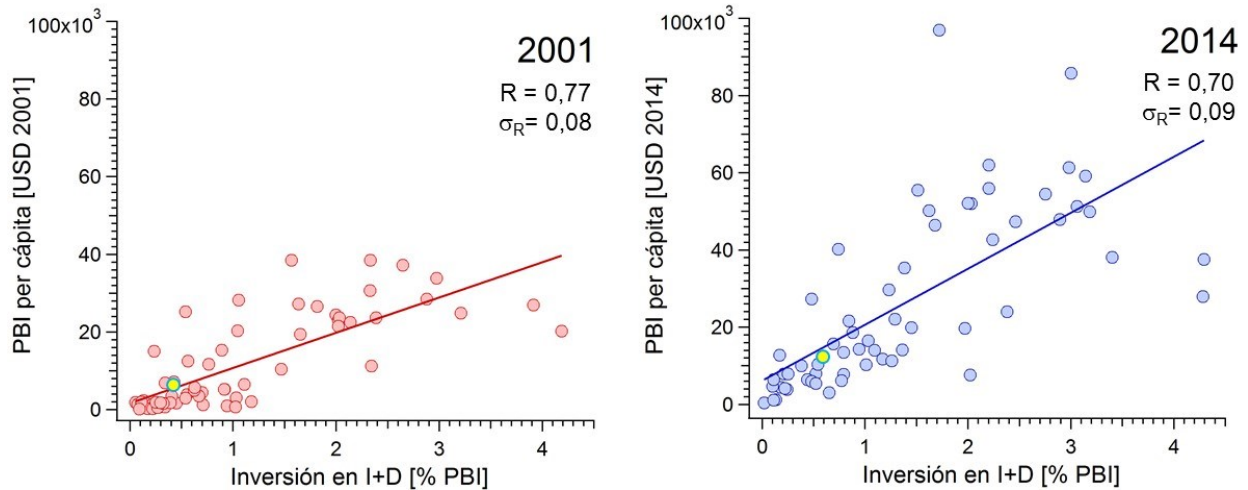


Figura 1. Gráficos de dispersión de PBI per cápita expresado en USD corrientes vs. inversión en I+D expresada en porcentaje del PBI, para los mismos 61 países, en 2001 y en 2014. Las rectas son ajustes lineales, R indica el coeficiente de correlación de Pearson, y σ_R su error estándar. Lista de países: Argentina (en amarillo), Armenia, Australia, Austria, Azerbaiyán, Bielorrusia, Bélgica, Brasil, Bulgaria, Canadá, China, Hong Kong, Colombia, Croacia, Chipre, República Checa, Dinamarca, Ecuador, Estonia, Finlandia, Francia, Georgia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Israel, Italia, Japón, Kazakstán, Kirguistán, Letonia, Lituania, Madagascar, Malaysia, México, Mongolia, Holanda, Noruega, Paraguay, Perú, Polonia, Portugal, Corea del Sur, Rumania, Federación Rusa, Serbia, Singapur, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Tayikistán, Tailandia, Macedonia, Turquía, Ucrania, Reino Unido, Estados Unidos de América. Datos: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>

Probablemente la manera más elemental de interrogar la magnitud del vínculo entre desarrollo económico e inversión en I+D, es a través de la correlación entre el PBI per cápita e inversión total en I+D [8]. En la Figura 1 se muestran estos datos para 61 países en los años 2001 y 2014. La correlación es evidente a simple vista, y estadísticamente significativa. Un test de correlación lineal (Pearson) arroja para 2001 un coeficiente de correlación de 0,77 con un error estándar de 0,08. Para 2014 el coeficiente de correlación es de 0,70 con un error de 0,09.

Los países que generan más riqueza por habitante son los mismos que invierten mayores fracciones de su PBI en I+D. Los

países más rezagados, con PBI per cápita menores, son los que invierten proporciones menores. Desde luego la correlación no es perfecta; para un cierto nivel de inversión en I+D, cada país obtiene un nivel distinto de PBI per cápita. Esto es esperable al considerarse que la muestra analizada incluye países de todas regiones del mundo, con características muy distintas en aspectos sociales, políticos, geo-políticos, geográficos, históricos y de recursos naturales, así como circunstancias particulares en el período analizado. En la muestra se encuentran países europeos, de América del Norte, latinoamericanos, países del sudeste asiático, China, y países de reciente formación luego del desmembramiento de la Unión Soviética. La

correlación entre inversión en I+D y desarrollo económico es llamativamente significativa en un universo de países tan disímiles. Es interesante destacar que para el mismo grupo de países, la correlación entre PBI per cápita e inversión en

educación es considerablemente menor, con coeficientes de Pearson de 0,50.

Información más detallada se obtiene de analizar la evolución particular de cada país.

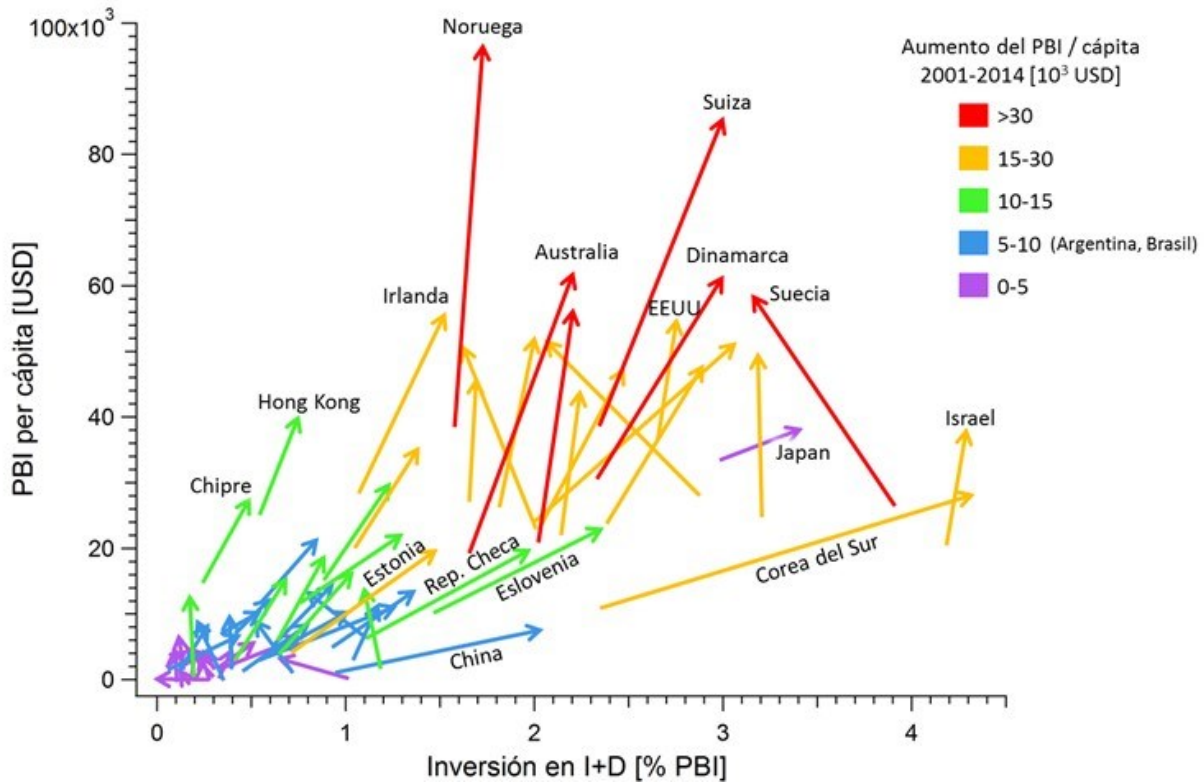


Figura 2. Evolución entre 2001 y 2014 del PBI per cápita y la inversión en I+D de los mismos 61 países que en la Figura 1. Cada país es representado por una flecha, que comienza en las coordenadas de 2001 y culmina en las de 2014. Los colores agrupan a los países según el incremento en PBI per cápita generado en el período 2001-2014.

Datos: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>

El gráfico de la Figura 2 muestra la evolución de cada país como una flecha entre las coordenadas iniciales (2001) y finales (2014) de inversión en I+D y PBI per cápita. Los distintos colores indican grupos de países según el incremento de su PBI per cápita en ese período. Salvo pocas excepciones, la

mayoría de países han aumentado tanto su PBI per cápita como la fracción del PBI invertida en I+D. Lo que varía considerablemente entre países es la magnitud de estos incrementos. En este contexto, es posible hacer una clasificación gruesa de países.

i) Países desarrollados. Todos los países que en 2001 invertían más de 1,5% de sus PBI en I+D obtuvieron los mayores incrementos de sus PBI per cápita (> 15.000 USD). Japón es la única excepción, debido a un proceso de deflación que ocurrió entre 1999 y 2004, y que comenzó a revertirse lentamente a fines de 2005. La gran mayoría de países de este grupo aumentaron la inversión durante el período 2001-2014. Sólo 3 redujeron la fracción de su PBI invertida en I+D: Canadá (de 2,02% a 1,63%), Islandia (de 2,87% a 2,02%) y Suecia (de 3,91% a 3,14%). Todos mantuvieron su nivel de inversión en I+D por encima del 1,5 del PBI.

ii) Países rezagados. Los países que en 2001 invertían menos del 1% de sus PBI en I+D, y no han aumentado esa inversión considerablemente, son los que obtuvieron menores aumentos de su PBI per cápita. En este grupo se encuentran todos los países

latinoamericanos y la mayoría de los países con aumentos del PBI per cápita menores a 10.000 USD (p.e. Argentina 5.100 USD, Brasil 7.600 USD). Las excepciones son algunos países de Europa del Este que mejoraron sus PBI per cápita por procesos político-económicos abruptos como su incorporación a la Unión Europea o el desmembramiento de la de la Unión Soviética, Hong Kong y Chipre.

Estos dos grupos de países se corresponden bastante bien a la descripción binaria de Posner. Actualmente existe un tercer grupo.

iii) Países en desarrollo. Este tercer grupo de países han aumentado considerablemente su inversión en I+D durante el período 2001-2014. Por ejemplo Corea del Sur y China, que vienen aplicando políticas de desarrollo en base a I+D desde hace décadas, y también otros países de Europa del Este como República Checa, Estonia y Eslovenia.

[1] Dosi, G.; Soete, L. Technology Gaps and Cost-Based Adjustment: Some Explorations on the Determinants of International Competitiveness. *Metroeconomica* 35 (1983) 197–222.

[2] Posner, M. International Trade and Technical Change. *Oxf. Econ. Pap.* 13 (1961) 323–341.

[3] Fagerberg, J. Technology and Competitiveness. *Oxford Rev. Econ. Policy* 12 (1996) 39–51.

[4] Fagerberg, J.; Srholec, M.; Verspagen, B. Innovation and Economic Development. In *Handbook of the Economics of Innovation*; Elsevier B.V. 2 (2010) 833–872.

[5] Fagerberg, J.; Srholec, M.; Verspagen, B. The Role of Innovation in Development. *Rev. Econ. Institutions* 1 (2010) 1–29.

[6] Fagerberg, J.; Srholec, M. Technology and Development; *Innovation Studies*; 20080623; 2008.

[7] Fagerberg, J.; Srholec, M.; Verspagen, B. Innovation and Economic Development. *Work. Pap. Ser.* (2009) 1–74.

[8] Kreiner, A. J. “¿Por qué invertir en ciencia y tecnología?”. Página 12, 4 de noviembre de 2016

Capítulo 3

Mecanismos y tiempos para la innovación industrial

La ciencia y la tecnología influyen la actividad económico-productiva de tres maneras básicas diferentes, cada una con tiempos y niveles de impacto característicos:

1) Aplicación de tecnologías existentes.

Llevar al mercado un nuevo producto o proceso usando tecnologías ya existentes demora típicamente entre 1 y 7 años, dependiendo de la complejidad. Ejemplos: aplicación, adaptación o desarrollo de un nuevo software; actualización de una planta o una línea de producción; diseño, prototipado y producción de un dispositivo análogo a uno existente.

La aplicación de tecnologías existentes aumenta la eficiencia y productividad, genera más valor agregado y puestos de trabajo de mayor calidad. Éste es el enfoque prioritario de los países rezagados, como los latinoamericanos, que siguen el desarrollo tecnológico con años o décadas de retraso. En términos de inversión en I+D, ésto es lo mínimo necesario para subsistir en la economía actual.

Un país o una empresa tiene dos maneras de aplicar este tipo de inversión: comprando la tecnología o desarrollándola localmente. La primera opción suele ser más rápida para alcanzar los objetivos pero puede convertirse en más costosa en el largo plazo, ya que genera dependencia en

actualizaciones, adaptaciones y reparaciones. La segunda opción, es más lenta y puede requerir una inversión inicial mayor, pero tiene el potencial de producir importantes beneficios en el largo plazo: genera conocimiento y personal especializado localmente, brinda independencia para actualizaciones, optimizaciones al ámbito local, y/o adaptaciones a nuevas necesidades o productos. Es decir, abre el camino al desarrollo de nuevas tecnologías propias, sobre la base de las desarrolladas (siguiente punto).

2) Innovación industrial fruto de investigación aplicada.

La generación de un producto o proceso hasta ahora inexistente, usando como base una nueva tecnología o una combinación novedosa de tecnologías, es un desarrollo que puede tomar entre 5 y 30 años. Ejemplos: descubrimiento y aprobación de una nueva droga/vacuna; nuevo uso para una droga conocida; optimización genética de especies vegetales; desarrollo de nuevos materiales con fines específicos (ultralivianos, biocompatibles, termoeléctricos, etc.); diseño, prototipado y producción de un dispositivo novedoso inexistente.

La innovación tecnológica a partir de investigaciones aplicadas propias está en el centro de las estrategias de crecimiento sustentable de los países desarrollados. Las inversiones son de más largo plazo, pero las potenciales ganancias son considerablemente mayores, ya que se genera una mayor competitividad regional e internacional. Se obtiene una posición de

privilegio en el mercado con un producto exclusivo por cierto período de tiempo. Se abre la posibilidad de competir por fracciones del mercado global de productos de alto valor agregado.

3) Revoluciones tecnológicas. Las verdaderas revoluciones tecnológicas se basan en hallazgos de la investigación científica básica. Luego de un proceso de maduración y retroalimentación virtuosa entre avances científicos y tecnológicos, se concretan dando origen a una nueva tecnología disruptiva, inesperada, que cambia de manera cualitativa la calidad de vida de toda la humanidad.

Si se recorre el desarrollo de las revoluciones tecnológicas se encuentra que abarcan varias vidas laborales humanas. Entre el descubrimiento científico original y las aplicaciones tecnológicas comerciales pueden transcurrir entre 20 y 120 años. En la actualidad, estos tiempos tienden a acortarse debido a la aplicación de políticas activas de innovación industrial (ver capítulo 4).

Podemos ilustrar este tipo de procesos con el ejemplo del láser. Láser es un acrónimo en inglés de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Los láseres funcionan en base al fenómeno de emisión estimulada, cuya existencia fue postulada teóricamente por Albert Einstein en 1917. En ese entonces, ningún ser humano vislumbró el láser, ni mucho menos sus aplicaciones actuales. El fenómeno descubierto por Einstein en base a consideraciones termodinámicas era una curiosidad de la naturaleza.

Recién en 1960 se construyó el primer láser, por Theodore Maiman en los laboratorios de la Hughes Aircraft Company. De nuevo, a esta altura nadie podía vislumbrar las posibilidades industriales y comerciales del láser. Se le llamó "a solution looking for a problem". No fue sino hasta la década del 80 cuando comenzaron las aplicaciones comerciales masivas. Hoy en día usamos láseres para innumerables aplicaciones, como corregir defectos de visión en cirugía ocular, medir signos vitales, escanear precios en cada tienda, telecomunicaciones por fibra óptica, cortar a través de acero, fabricación aditiva y hasta para borrar tatuajes, entre otras tantas. El mercado global de aplicaciones láser es de varios miles de millones de USD.

Otros ejemplos de revoluciones tecnológicas son la electricidad; los antibióticos; las ondas electromagnéticas (telecomunicaciones inalámbricas); los cristales líquidos; los relojes atómicos y la relatividad (claves para la industria satelital, GPS); los anticuerpos monoclonales; la internet; la ingeniería genética; la mecánica cuántica y la física del estado sólido (claves para la microelectrónica, la energía nuclear y resonancia magnética nuclear, los LED).

Económicamente, las revoluciones tecnológicas producen un impacto enorme, y a priori incalculable. El mercado global anual de las tecnologías de la información es de alrededor de 2 billones de USD, el de semiconductores es de 300.000 millones de USD, el de los anticuerpos monoclonales ronda los 130.000 millones de USD, y el de los láseres los 10.000 millones de USD. Y todos crecen año tras año. Otros mercados emergentes tienen proyecciones de

crecimiento enormes como el de secuenciado de ADN, hoy valuado en 6.000 millones, se estima que será de 24.000 millones en 2024. Y esto es solo para nombrar algunos ejemplos.

Los países latinoamericanos, al igual que los demás países rezagados, no participan de manera considerable en ninguno de estos mercados. Los países que obtienen las fracciones mayoritarias de los nuevos mercados generados por las revoluciones tecnológicas son los que han mantenido investigaciones científicas en esas áreas

durante los períodos de desarrollo. Estos países son los que cuentan con los recursos humanos y las empresas capaces de asimilar la nueva tecnología en el momento comercialmente oportuno.

En resumen, las actividades de I+D requieren de continuidad durante períodos de tiempo relativamente largos. Se desarrollan gradualmente, transmitiendo el conocimiento de generación en generación de científicos y tecnólogos.

Capítulo 4

Del descubrimiento científico a la innovación industrial

La transformación de conocimiento científico en innovaciones industriales se ha convertido en un proceso altamente competitivo. Las naciones desarrolladas, y las grandes empresas, compiten entre sí en una carrera por tomar ventaja de los hallazgos científicos y traducirlos en éxitos económicos.

El desafío principal en esta carrera consiste en cerrar una brecha crítica que existe entre el laboratorio científico y la producción. Para superar este obstáculo es necesario desarrollar la nueva tecnología hasta hacerla atractiva para las inversiones de capital de riesgo. El desarrollo tecnológico es un proceso que involucra varias etapas y que muchos emprendimientos no logran superar en su totalidad. Por este motivo se lo denominó el “valle de la muerte” de los emprendimientos tecnológicos. De todos modos, entre 1 y 5% de los emprendimientos de innovación industrial se convierten en empresas de facturación multimillonaria, que hacen que el balance global de la innovación industrial sea altamente positivo. Esto es lo que motiva las estrategias de innovación de los países desarrollados que consideran a la innovación industrial como una de las claves para la sustentabilidad de sus economías.

En los 1990s, sólo el 10% de los emprendimientos lograban recuperar la inversión. Hoy en día la situación es mucho más favorable. Según un relevamiento de más de 25.000 casos, más del 40% de los emprendimientos recuperan la inversión [1]. Este notable aumento en la eficiencia de las inversiones en innovación industrial se debe en gran parte a una mejor planificación que incluye ajustes en base a sondeos periódicos del avance del desarrollo tecnológico y de su oportunidad comercial.

Monitoreo del desarrollo tecnológico y oportunidad comercial

Existen diversas maneras de monitorear el desarrollo de una nueva tecnología desde su descubrimiento en un laboratorio científico hasta su incorporación en un producto o proceso industrial. Un método pionero fue el de asignación de niveles de madurez tecnológica (TRL, technology readiness level) introducido por la National Aeronautics and Space Administration (NASA, EEUU) en los 1970s [2]. Este método plantea una progresión lógica de capacidades que la nueva tecnología debe demostrar. La Figura 3 muestra los 9 niveles de TRL que una tecnología debe superar desde la observación de principios básicos en el laboratorio hasta alcanzar una aplicación en el mundo real.

TRL (Technology Readiness Level)

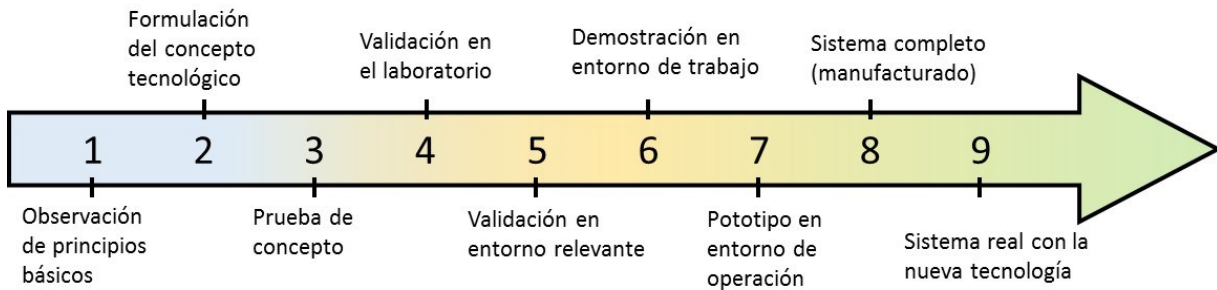


Figura 3. Niveles de madurez tecnológica (technology readiness level, TRL) desde la concepción en el laboratorio científico hasta la aplicación en un sistema real.

El método TRL, debido a su origen en la NASA, sólo evalúa la madurez de la tecnología para su desempeño en condiciones reales, pero no interroga aspectos comerciales, como por ejemplo:

- ¿Es factible la producción a escala comercial? ¿Es realizable en un entorno industrial por alguien sin un doctorado en ciencias? ¿Cuál sería su costo?
- ¿El nivel de desempeño del prototipo es reproducible en un gran número de ítems?
- ¿Se encuentran disponibles los materiales y componentes necesarios?

Para evaluar estos aspectos se utilizan otras métricas como el nivel de madurez de fabricación MRL (manufacturing readiness level) [2]. La Figura 4 muestra los 10 niveles progresivos de MRL que deben superarse para llevar una nueva tecnología a la producción comercial.

El avance en la madurez tecnológica depende casi exclusivamente de las

características propias de la nueva tecnología en evaluación. Por otro lado, el avance en la madurez de fabricación y la oportunidad comercial dependen también de factores externos. Por ejemplo, durante los meses o años que tome el proceso de desarrollo pueden hacerse disponibles nuevas tecnologías, materiales o componentes que habiliten métodos de fabricación más convenientes. O también puede ocurrir que surja una tecnología o producto alternativo que reduzca el mercado potencial.

Por este motivo es clave actualizar periódicamente las evaluaciones de TRL, MRL y de mercado para ajustar la estrategia de inversión oportunamente.

En resumen, para maximizar las oportunidades de éxito de los emprendimientos de base tecnológica se requiere coordinar las etapas de inversión con un seguimiento continuo de: i) el desarrollo tecnológico (TRL), ii) las posibilidades de fabricación (MRL), y iii) las oportunidades comerciales.

MRL (Manufacturing Readiness Level)

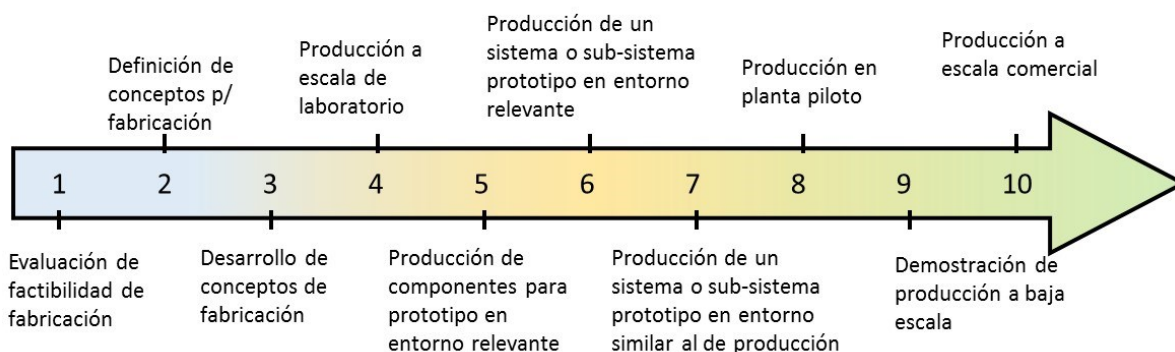


Figura 4. Niveles de madurez de fabricación (manufacturing readiness level, MRL) que una nueva tecnología debe superar desde la primera evaluación de factibilidad de fabricación hasta la producción a escala comercial.

Distribución de la inversión pública y privada en un sistema que cumple el ciclo completo de innovación

La Figura 5 muestra esquemáticamente como se distribuye la inversión en I+D en función de la madurez tecnológica, desde el descubrimiento de una posible nueva tecnología hasta su aplicación a escala de producción comercial.

Las universidades y centros de investigación, financiados mayoritariamente con fondos públicos, trabajan en la generación de nuevos conocimientos. Eventualmente, cuando un hallazgo tiene potencial comercial a futuro, se desarrolla la tecnología hasta pruebas de concepto o una validación en el laboratorio (TRL 3-4).

Las empresas e industrias concentran su inversión en I+D en tecnologías con cierto grado de madurez (TRL > 6 y MRL > 4) para poder llevarlas a escala de producción con cierto grado de previsibilidad.

Se genera entonces una brecha crítica en la transición desde el hallazgo científico a la innovación industrial. Esta etapa requiere de trabajo interdisciplinario con el esfuerzo combinado de científicos, ingenieros, economistas, expertos en marketing, logística, comercio (internacional), financiación y captación de capitales de riesgo.

Para cerrar esta brecha de manera competitiva, la mayoría de los países desarrollados han creado instituciones intermedias especializadas en el desarrollo y en la evaluación de nuevas tecnologías para su aplicación comercial. Se trata de centros de primer nivel mundial diseñados para transformar las capacidades de innovación en áreas específicas e impulsar el crecimiento económico futuro. Su misión es crear y llevar a la práctica tecnologías útiles para la industria y la sociedad, promover una infraestructura industrial robusta y sostenible, y de este modo aumentar la competitividad industrial.

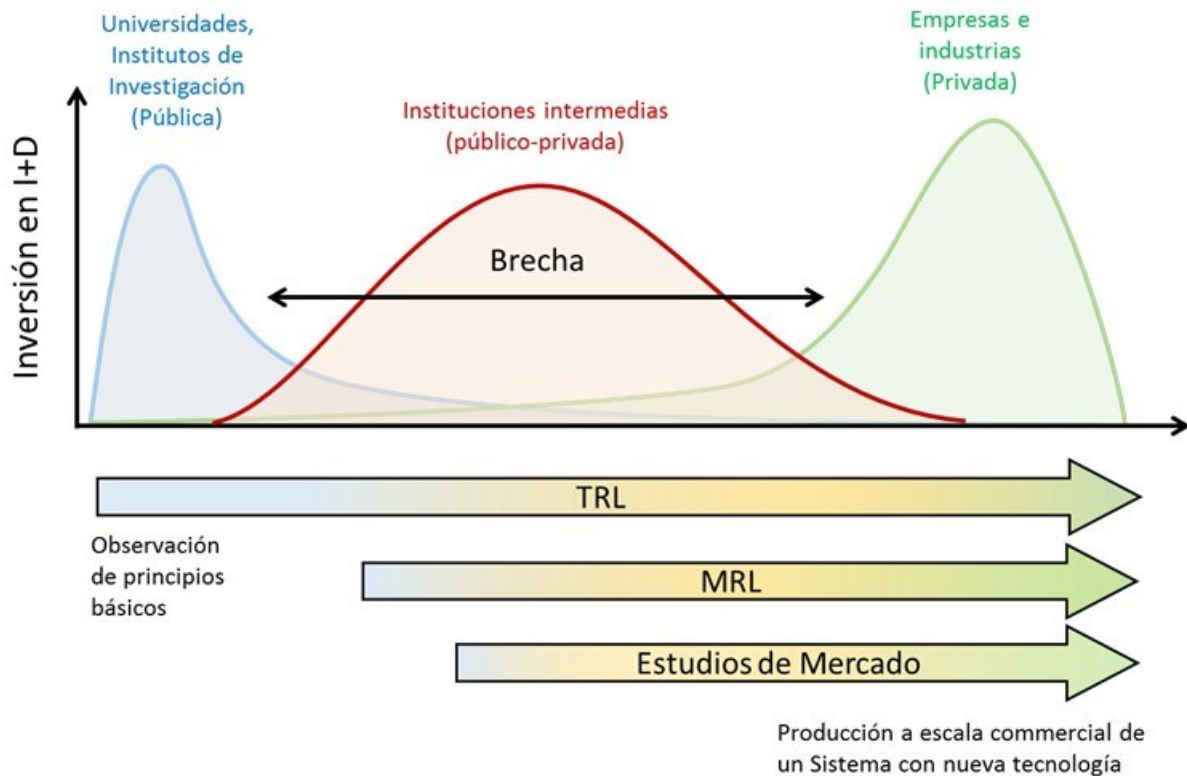


Figura 5. Distribución de la inversión en I+D según el grado de madurez tecnológica en un sistema que cumple el ciclo completo de innovación.

Como regla general, estos institutos de innovación industrial fueron creados con fondos públicos. Con el correr del tiempo, a medida que se establecen tienden a un esquema de financiación 50 % público – 50 % privado, distribuido aproximadamente en tres tercios del siguiente modo. Un tercio del presupuesto proviene de fondos públicos y se usa para asegurar el funcionamiento, contar con personal especializado y actualizado, mantener la infraestructura de los institutos con tecnología de punta en cada área. Esta fracción del presupuesto se usa también para encarar los proyectos más riesgosos con tecnologías en etapas tempranas de

maduración pero con amplio potencial comercial a futuro. Un segundo tercio se aplica en proyectos de I+D por contratos públicos – privados 50-50, generalmente mediante concursos competitivos. Y finalmente, otro tercio se obtiene por contratos para realizar I+D por demanda externa directa de empresas e industrias.

El trabajo en conjunto con la industria se aprovecha para identificar nichos de innovación y oportunidades para nuevas tecnologías. En estrecha vinculación con el sistema de investigación científica local se exploran nuevos conceptos y fronteras del conocimiento orientados a los sectores identificados. Asimismo, estas instituciones

monitorean y se mantienen actualizadas sobre los avances científicos y de innovación industrial en todo el mundo.

Ejemplos de institutos de innovación industrial en el mundo

Fraunhofer Gesellschaft (Alemania). La Sociedad Fraunhofer es probablemente la institución estrella de este tipo. Comenzó sus actividades en 1949 con un instituto. Hoy cuenta con 72 institutos especializados distribuidos por todo el territorio alemán que trabajan en 8 grandes áreas: Tecnología de la información y la comunicación; Investigación en innovación; Defensa y seguridad; Ciencias de la vida; Luz y superficies; Materiales y componentes; Microelectrónica; Producción. Tiene 25.000 empleados, un presupuesto total de casi 3.000 millones de € y sedes o centros en Italia, Austria, Portugal, Suecia, Reino Unido, EEUU, Chile, Singapur, China, India, Indonesia, Japón, Corea del Sur, Malasia, Egipto, Israel y Sudáfrica.

Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO – Países Bajos). La TNO está en funciones desde 1932. Hoy está compuesta de 27 Centros que trabajan enfocados en 9 grandes áreas: Edificios, Infraestructura y Marina; Economía circular y medio ambiente; Defensa y seguridad; Energía; Vida saludable; Industria; Tecnología de la información y la comunicación; Análisis estratégico y política; Tránsito y transporte. Tiene más de 2.900

empleados, un presupuesto total de 500 millones de €, y sedes en Bélgica, Aruba, China, Malasia, Qatar, EEUU.

Industrial Technology Research Institute (ITRI - Taiwan). Fue fundado en 1973 con 400 empleados y 230 millones de USD (100 % público). Actualmente tiene más de 5.000 empleados y un presupuesto anual de más de 600 millones de USD (50% público). Tiene 18 centros en Taiwan y oficinas en EEUU, Europa y Japón. Sus áreas principales de trabajo son: Tecnología y dispositivos biomédicos; Energía renovable y medio ambiente; Química y materiales; Sistemas mecánicos y mecatrónicos; Información y comunicación; Sistemas electrónicos y optoelectrónicos; Medidas y estándares.

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST – Japón). El AIST nace como tal en 2001, fruto de una reorganización del gobierno central, incorporando 15 institutos de investigación de la ex Agencia de Ciencia y Tecnología Industrial, del ex Ministerio de Comercio Internacional e Industria, y del Instituto de Pesos y Medidas. Consta de 44 Centros e Institutos trabajando en 7 grandes áreas: Materiales y química; Energía y ambiente; Producción y electrónica; Inspección geológica; Ciencias de la vida y biotecnología; Información, comunicación, robótica e inteligencia artificial; Metrología y estándares. Más de 3.500 empleados. Presupuesto total de 890 millones USD.

Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT). Fue establecido en 2009 bajo la órbita del Ministerio de Comercio, Industria y Energía, a partir de la unión de seis Institutos públicos y gubernamentales previos: ITEP (Korea Institute of Industrial Technology Evaluation and Planning), KOTEF (Korea Industrial Technology Foundation), KTTC (Korea Technology Transfer Center), IITA (Institution for Information Technology Advancement), KMAC (Korea Materials and Components Industry Agency), and KIDP (Korea Institute of Design Promotion). Cuenta con un presupuesto anual de aproximadamente 1.000 millones de USD y 260 empleados.

Merecen especial atención los casos de EEUU y el Reino Unido, que son los dos países que lideran la generación de conocimiento científico básico en el mundo. Hace unos años reconocieron que, a pesar de su ventaja científica, su liderazgo en la producción de alta tecnología y valor agregado, que tradicionalmente era impulsado por importantes empresas locales, estaba declinando debido a las iniciativas de países competidores. Ambos países reaccionaron y construyeron rápidamente redes de institutos destinados a impulsar la innovación industrial, inspirados en el modelo alemán de la Sociedad Fraunhofer.

National Network for Manufacturing Innovation (Manufacturing USA - EEUU). Se estableció formalmente en 2014 con un presupuesto inicial 100% público de 1.000 millones de USD. La red es manejada por una agencia inter-ministerial creada ad-hoc, ubicada dentro del National Institute of Standards and Technology (NIST), en el Departamento de Comercio, con vínculos con los Departamentos de Defensa, Energía, Salud, Agricultura, Servicios Humanos, Trabajo y Educación, la NASA, la National Science Foundation. Ya cuenta con 14 Centros trabajando en: Fotónica; Procesado aditivo de materiales; Robótica avanzada; Biofabricación; Energía limpia; Fabricación digital; Materiales compuestos avanzados; Innovaciones livianas para el futuro; Sensores y electrónica digital; Innovación en biofarmacéuticos; Materiales para Electrónica; Intensificación de procesos; Reducción de emisiones y gasto energético; Fabricación inteligente.

Catapult Centers (Reino Unido). Creados en 2011 a partir de un influyente reporte del Dr. Herman Hauser [3] con un presupuesto inicial público de 100 millones de Libras por año. Actualmente tiene 1400 empleados en 10 Centros que impulsan la innovación industrial en las siguiente áreas: Terapia celular y genética; Aplicaciones de semiconductores compuestos; Ideas digitales; Energía; Ciudades del futuro; Fabricaciones de alto valor; Descubrimiento de medicamentos; Energías renovables off-shore; Aplicaciones satelitales; Sistemas de transporte.

En resumen, la innovación industrial eficiente requiere de trabajo coordinado y sostenido en el tiempo en todas las etapas. Se debe invertir y apoyar la investigación básica de excelencia en un amplio espectro de disciplinas para garantizar futuras innovaciones. Es necesario identificar áreas estratégicas donde impulsar la innovación con políticas activas. A las empresas e industrias de esas áreas es necesario brindarles apoyo, asesoramiento orientado al negocio y acceso a tecnología de punta,

para ayudarlas a incorporar nuevas tecnologías y cerrar la brecha entre innovación incipiente y la producción a escala comercial. Para esta tarea es clave contar con infraestructura intermedia, institutos especializados en innovación industrial que conozcan en detalle el estado tecnológico y comercial de cada área, con capacidad de analizar las oportunidades para innovación en el futuro.

[1] Cambridge Associates - Private Investment Series (Nov 2015). "Venture Capital Disrupts Itself: Breaking the Concentration Curse"

[2] Joseph A. Fernandez, SANDIA Report SAND2010-7595, SANDIA National Laboratory (Nov 2010). "Contextual Role of TRLs and MRLs in Technology Management"

[3] Hermann Hauser, "The Current and Future Role of Technology and Innovation Centres in the UK". A report for Lord Mandelson, Secretary of State Department for Business Innovation & Skills.

Capítulo 5

Inversión de Argentina en I+D en el contexto global.

El mapa de la Figura 6 muestra la situación global actual de inversión en I+D, indicando en una escala de colores la inversión que cada país realiza como porcentaje de su Producto Bruto Interno (PBI).

Esta visualización muestra qué fracción de la riqueza generada es reinvertida en I+D. En otras palabras, indica la importancia relativa que cada país le da a la inversión en I+D, de acuerdo con sus propias capacidades.

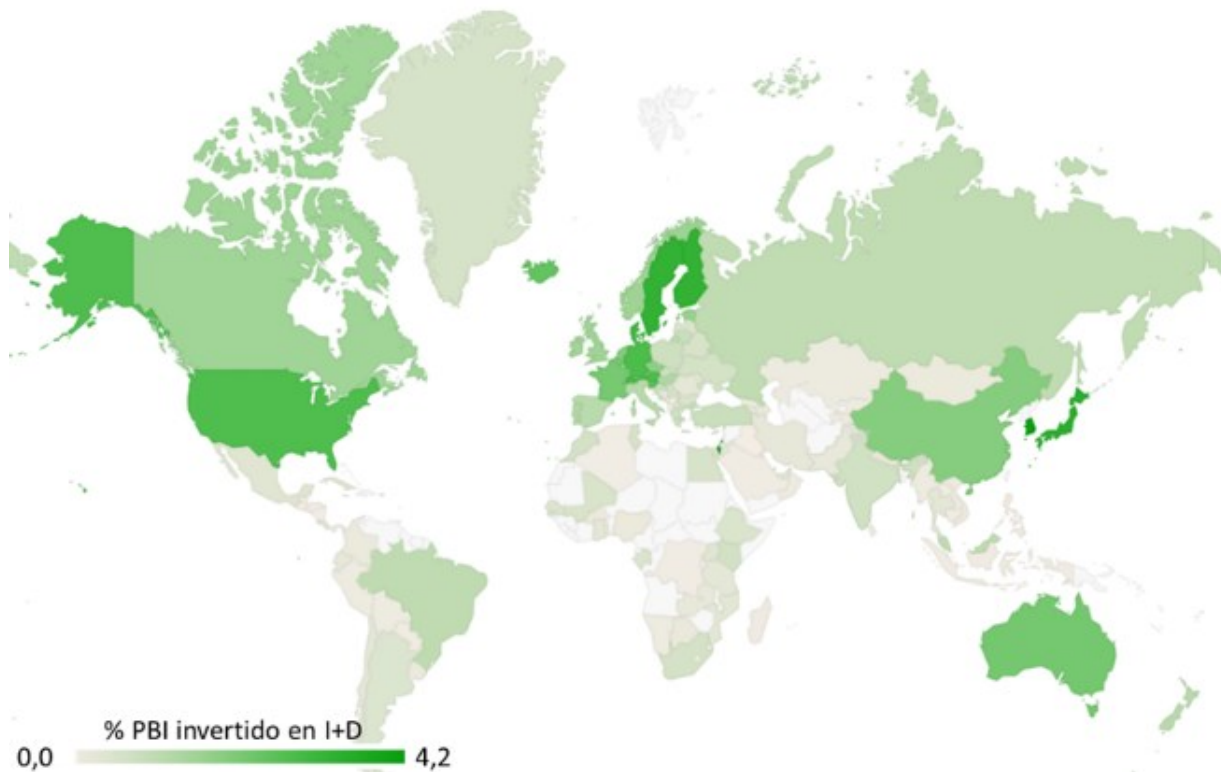


Figura 6. Inversión en investigación científica y desarrollos tecnológicos de cada país, como porcentaje de su PBI, en escala de colores desde 0% hasta 4,2%. La información de cada país corresponde a distintos años entre 2010 y 2015.

Datos: UNESCO. Visualización www.indexmundi.com.

Para una comparación más precisa entre países o regiones, se puede analizar la posición global en un ranking de países según su inversión en I+D, como se muestra de modo resumido en la Tabla 1. Los países más desarrollados invierten hasta 4,2% de su PBI en I+D.

De América Latina, Brasil es el país que más invierte en I+D, ubicándose en el puesto global número 31 con 1,15%, seguido por Argentina en el puesto 56 con 0,59 %. El promedio de América Latina es 0,69 % del PBI de la región, lo cual demuestra el peso relativo de Brasil.

Puesto	1	2	3	...	31	32	33	...	54	55	56	57	58
País	Israel	Corea del Sur	Japón	...	Brasil	Rusia	Malasia	...	Etiopía	Letonia	Argentina	Gabón	Senegal
% PBI	4,21	4,15	3,47	...	1,15	1,13	1,13	...	0,61	0,60	0,59	0,58	0,54

Tabla 1. Extracto del ranking de países según su inversión en I+D expresada como porcentaje de su PBI (2013 – 2015 según disponibilidad de datos para cada país). Fuente: UNESCO, <https://www.indexmundi.com>.

Alternativamente, se puede analizar la ubicación de cada país en la distribución global de niveles de inversión como se muestra en la Figura 7 (izquierda). La distribución de niveles de inversión en I+D es fuertemente sesgada hacia inversiones pequeñas; son muchos más los países que invierten porcentajes menores de sus PBI en I+D. Por ejemplo, 35 de los 135 países invierten entre 0 y 0,2 % de sus PBI en I+D. Argentina se encuentra en un grupo de 18 países que invierten entre 0,4 y 0,6 % de sus PBI. Brasil invierte entre 1,0 y 1,2 % de su

PBI al igual que otros 6 países. Sólo 18 países invierten más de 2 % de su PBI en I+D.

Es interesante notar que la distribución de niveles de inversión en educación es cualitativamente diferente (figura 2, derecha). En este caso, la distribución es mucho más simétrica y cercana a una distribución normal. Ésto es indicativo de que la importancia de invertir en educación está globalmente más aceptada que en el caso de invertir en I+D.

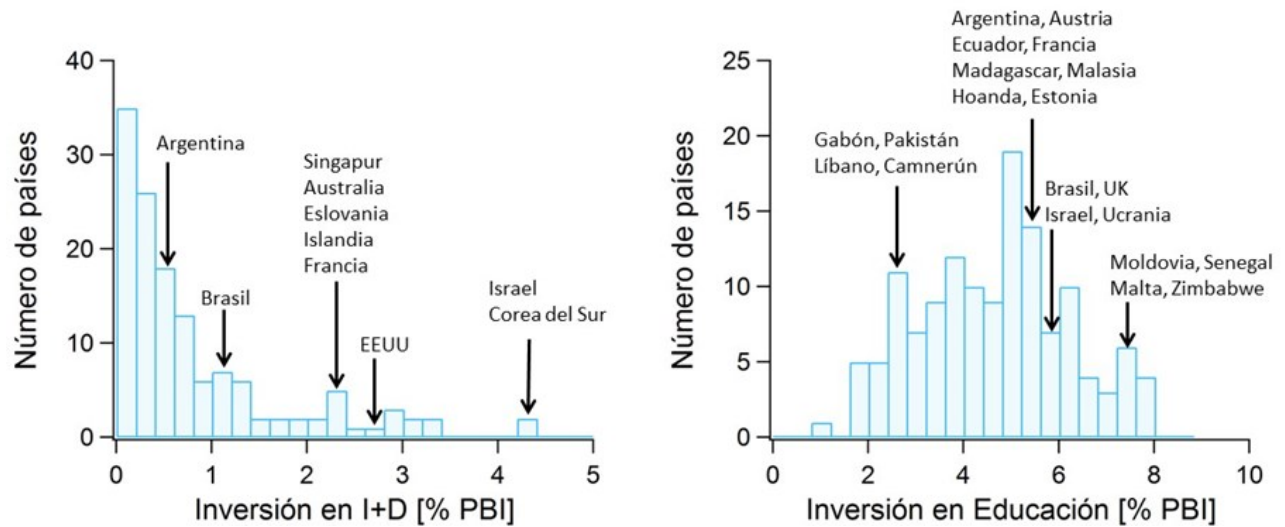


Figura 7. Histograma de la inversión en I+D (izquierda) y en educación (derecha) como porcentaje del PBI para 135 países (2013 – 2015 según disponibilidad de datos para cada país). Se indica la posición de algunos países como referencia. Datos: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>.

Evolución de las inversiones en I+D

En general, todos los países aumentan con el tiempo la fracción de sus PBI invertida en I+D. La distinción entre países desarrollados, rezagados, y en desarrollo se hace evidente en la magnitud con que realizan este aumento. La Figura 8 muestra la evolución de la inversión en I+D de algunos países de referencia desde 1996 a 2015, junto con proyecciones lineales a 2030. La Tabla 2 muestra para el mismo período las tasas promedio de crecimiento de la inversión en I+D para cada país.

Los países desarrollados aumentan la fracción de su PBI dedicada a I+D de manera prácticamente monótona y lineal con tasas de crecimiento promedio de entre 0,02 %PBI/año (EEUU) y 0,04 %PBI/año (Alemania). Los países rezagados, en cambio, incrementan su inversión en I+D a tasas considerablemente inferiores. Por ejemplo, la tasa de incremento promedio de Argentina o Brasil desde 1996 a 2014 fue de 0,01 %PBI/año. Es decir, a un ritmo entre 2 y 4 veces más lento que los países desarrollados. En consecuencia, la brecha tecnológica entre los países rezagados (latinoamericanos) y los más desarrollados se incrementa año tras año.

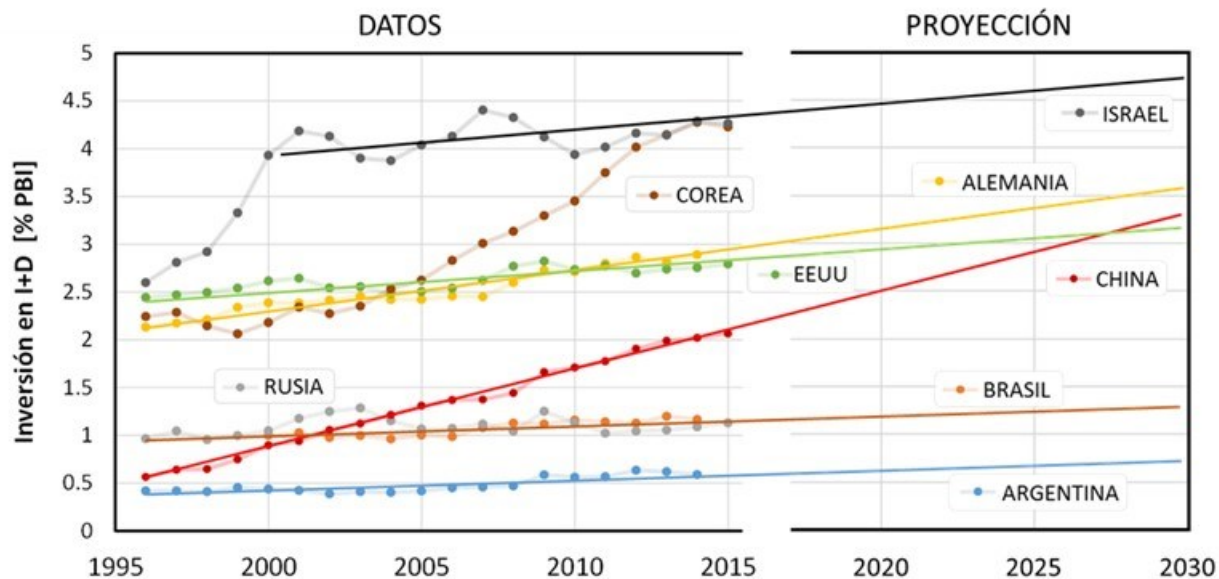


Figura 8. Evolución de la inversión en I+D expresada en porcentaje del PBI para 8 países de referencia. Fuente: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>

País	Corea del Sur	Israel	China	Alemania	EEUU	Brasil	Argentina
Tasa promedio de incremento de la inversión en I+D en el período 1996 - 2014 [% PBI / Año]	0,11	0,09	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01

Tabla 2. Tasa promedio (1996-2014) de incremento de la inversión en I+D. Datos: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>

Para alcanzar los niveles de inversión competitivos internacionalmente, los países en desarrollo incrementan su inversión en I+D a tasas considerablemente superiores a las que aplican los países desarrollados durante un período de tiempo. Por ejemplo Israel, entre 1996 y 2001 aumentó su inversión en I+D a una tasa promedio de 0,32 %PBI/año, es decir casi 10 veces más rápido que los países desarrollados. A partir de 2001, el nivel de inversión israelí osciló

de manera convergente hacia una tasa de crecimiento de la inversión en I+D similar a la de los países desarrollados. Corea del Sur, entre 1999 y 2014, aumentó su inversión con una tasa promedio de incremento de 0,15 %PBI/año, es decir aproximadamente 5 veces más rápido que los países desarrollados. China es otro país que viene aplicando una política sostenida de I+D desde hace décadas, aumentando la fracción de su PBI invertida en I+D de

manera sistemática a una tasa constante de 0,08 %PBI/año, aproximadamente 3 veces más rápido que los países desarrollados.

De este modo, los países en desarrollo alcanzan en algún momento niveles de

inversión en I+D análogos a los de los países desarrollados. Por ejemplo, China alcanzará el nivel de inversión de EEUU cerca de 2027, y el de Alemania alrededor de 2033.

País	Corea del Sur	Israel	EEUU	Alemania	Italia	China	Rusia	Brasil	Argentina	Ecuador	Namibia
PPP / cápita	1378	1328	1268	1068	379	229	169	158	99	43	29

Tabla 3. Inversión absoluta en I+D per cápita, expresada en PPP (2013 – 2015 según disponibilidad de datos para cada país). Fuente: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>

Inversión absoluta en I+D.

Dado que los países desarrollados son los que obtienen mayores PBI per cápita, la brecha entre países desarrollados y rezagados es aún mayor en términos de inversión real en I+D que en términos de porcentaje de PBI. Los países más desarrollados invierten por encima de los 1000 USD/cápita en I+D. Argentina en este momento invierte alrededor de 100 USD/cápita. La Tabla 3 muestra la inversión

absoluta en I+D por habitante de algunos países de referencia.

El nivel actual de inversión en I+D de Argentina es del 0,6% del PBI. En valor absoluto esto significa cerca de 3.300 millones de USD por año. Este es un monto comparable al de los presupuestos anuales de instituciones individuales de países desarrollados, como puede verse en los ejemplos de la Tabla 4.

Institución	Presupuesto anual (millones de USD)
Massachusetts Institute of Technology (MIT, USA) – 2017 [1]	3.349
Universidad de California (UC, USA) – 2015 [2]	28.500
Sociedad Max Planck (83 Centros de investigación básica, Alemania) – 2016 [3]	2.000
Centro Nacional de la Investigación Científica (CNRS, Francia) – 2016 [4]	3.500
Inversión total en I+D del Estado de Sao Paulo (Brasil) – 2015 [5]	14.800

Tabla 4. Presupuestos anuales de algunas instituciones de referencia.

Recursos humanos en I+D

La formación de recursos humanos entrenados en ciencia y tecnología es un proceso lento. En general se requieren entre 10 y 15 años desde que una persona ingresa a la Universidad, hasta que es capaz de plantearse y responder una pregunta científico-tecnológica de manera independiente. Por este motivo, la formación de recursos humanos suele ser un cuello de botella en procesos de expansión de actividades de I+D.

La Figura 9 muestra la evolución del número de investigadores ocupados en I+D por millón de habitantes de los mismos 8 países de referencia de la Figura 8. También en este aspecto existe una notoria brecha entre

los países desarrollados y los rezagados. Por ejemplo, Argentina tuvo un crecimiento relativamente importante en el número de investigadores en el período 2003-2012, hoy ese crecimiento está estancado y aún tiene 4 veces menos investigadores per cápita que Alemania, 7 veces menos que Corea del Sur, 8 veces menos que Israel. La cantidad de personal dedicado a I+D por habitante es ligeramente menor en Brasil y aún menor en el resto de los países de América Latina.

Las proyecciones a 2030 usando las tasas de crecimiento promedio del período 1995-2015 demuestran que Argentina debe cambiar cualitativamente su estrategia de recursos humanos en I+D para acompañar cualquier estrategia de desarrollo basado en una economía del conocimiento.

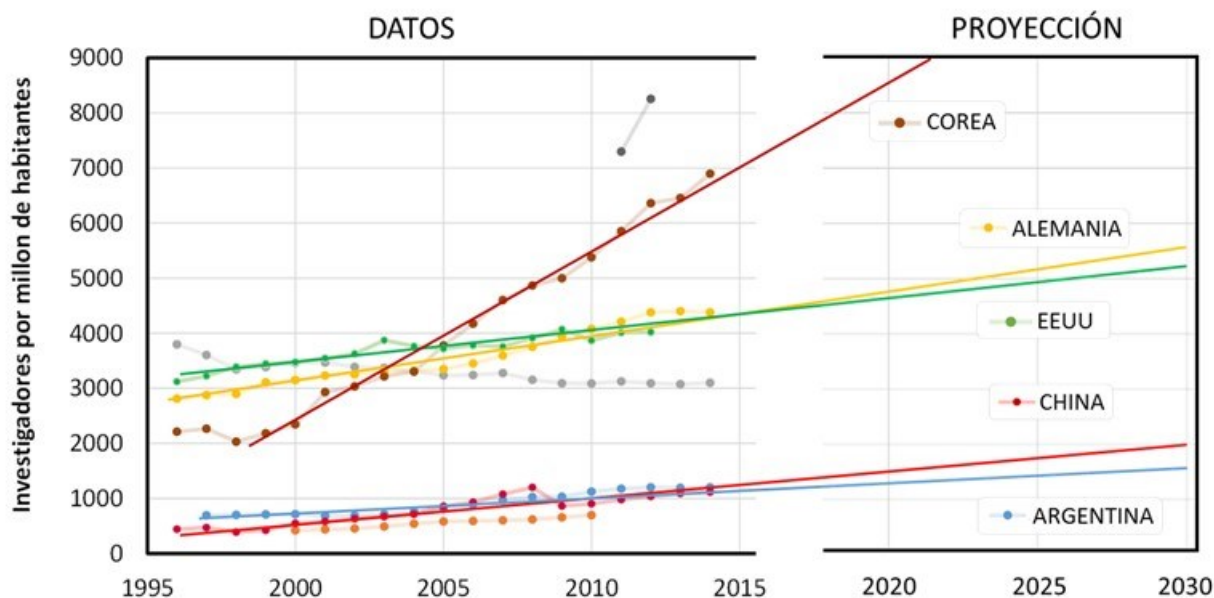


Figura 9. Evolución del número de investigadores activos por millón de habitantes para 8 países de referencia (2013 – 2015 según disponibilidad de datos para cada país). Datos: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>. Proyecciones lineales a 2030 para Argentina, China, EE.UU, Alemania y Corea del Sur.

Inversión pública e inversión privada en I+D

La Figura 10 (izquierda) muestra la distribución de porcentajes de inversión en I+D realizada por empresas en 85 países. Se puede ver un amplio rango de participación privada en la inversión en I+D, que va desde 0 hasta prácticamente 80%. Aunque existen excepciones, la participación empresarial es

generalmente mayor en los países desarrollados. La Figura 10 (derecha) muestra el gráfico de PBI per cápita vs. porcentaje de inversión empresarial en I+D, evidenciando una correlación significativamente (R = 0,54), aunque considerablemente menor que la del PBI per cápita vs. inversión total en I+D (Figura 1; R = 0,70).

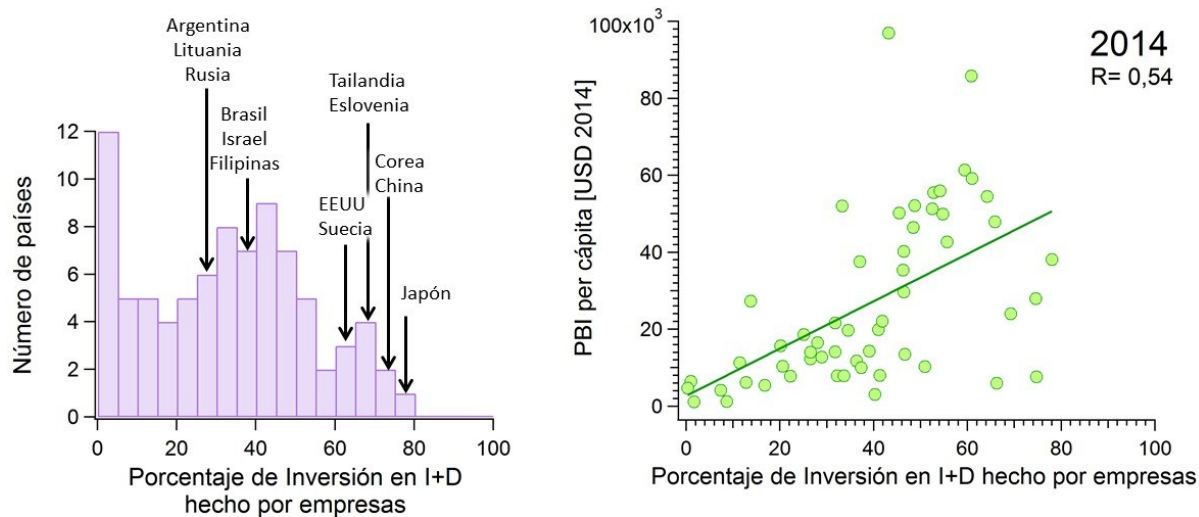


Figura 10. Izquierda: histograma del porcentaje de inversión en I+D realizado por empresas para 85 países (2010 – 2015 según disponibilidad de datos para cada país). Se indica la posición de algunos países a modo ilustrativo. Derecha: PBI per cápita en 2014 vs. Porcentaje de inversión en I+D realizado por empresas (2010-2015, 65 países). Datos: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>.

La mayor participación empresarial en I+D en los países desarrollados se debe naturalmente al alto grado de industrialización y a las inversiones que realizan las empresas para sostener su competitividad. El Estado fomenta y apoya la continuidad de estas inversiones mediante una batería de políticas e instrumentos:

- Mantiene un sistema científico y universitario competitivo a nivel internacional
- Financia programas de investigación científica de excelencia
- Utiliza el poder de compra del Estado para impulsar el avance tecnológico y la inversión privada en I+D, sobre todo en áreas estratégicas como Defensa, Seguridad, Transporte, Salud, Alimentos y Energía.

- Mantiene instituciones intermedias de innovación industrial competitivas internacionalmente en áreas de ventaja comercial competitiva regional e internacional.

- Brindan un amplio espectro de instrumentos para estimular la inversión privada en I+D: beneficios fiscales para actividades de I+D, co-financiación de proyectos de desarrollo tecnológico de alto riesgo en etapas tempranas de madurez tecnológica, créditos a nuevos emprendimientos tecnológicos sólo reembolsables con regalías, por mencionar algunos. Una revisión detallada de los instrumentos de fomento a la inversión y a la I+D que aplican distintos países fue realizada recientemente por Deloitte [15].

Los países rezagados, en cambio, no cuentan con políticas e instrumentos estables de fomento efectivo de la innovación y la inversión en I+D. Se caracterizan por una inversión en I+D realizada mayoritariamente por el Estado y en niveles inadecuados para impulsar la economía.

Son pocos los países que se han desarrollado en el último siglo, pero algunos han sido bien documentados, como por ejemplo el de Corea del Sur (Figura 11). Es interesante observar en esos ejemplos cómo se avanzó de un esquema a otro de inversión en I+D, donde la participación mayoritaria pasó del sector público al privado. Como es esperable, la transición ocurre de modo gradual, en tiempos compatibles con la actividad en I+D, y fruto de una política estatal de fomento y desarrollo estable en el tiempo.

En el caso de Corea del Sur comenzó a mediados de la década de 1960 con una inversión en I+D de 0,2% del PBI realizada en un 95% por el Estado. A medida que el Estado comenzó a ejecutar políticas de industrialización de alto contenido tecnológico de modo sostenido, aumentando la inversión en I+D, la contraparte invertida por empresas privadas fue incrementándose de modo proporcional. Luego de aproximadamente 20 años la fracción privada de la inversión en I+D alcanzó el 50%. A partir de este punto se produjo un aumento abrupto en la participación privada llevándola al 75% en sólo 6 años (Figura 11). Este proceso puede considerarse exitoso económicamente; el PBI per cápita pasó del orden de 100 USD en la década del 1960 a más de 30.000 USD en la actualidad.

Otro ejemplo destacable de este tipo de transición es la del Estado de San Pablo (Brasil) que actualmente invierte en I+D un total de 14.800 millones de USD, más de cuatro veces lo que toda la República Argentina. De este presupuesto, 6.000 millones provienen directamente de fondos públicos.

San Pablo comenzó este proceso en 1947 cuando estableció en su Constitución (artículo 123) que el apoyo financiero del Estado a la actividad científica se haría a través de una fundación. Recién en 1962, el Gobernador Carvalho Pinto creó dicha Fundación (FAPESP) y le otorgó el 0,5 % de toda la recaudación impositiva del Estado. En la Constitución de 1989 este monto fue aumentado al 1 %. Desde ese momento hasta la actualidad, el desarrollo científico, tecnológico y económico del Estado de San

Pablo ha sido extraordinario. Luego de décadas de política e inversión pública sostenida y previsible, San Pablo cuenta con cientos de empresas de base tecnológica que realizan una inversión superior a la inversión pública y garantizan la

sustentabilidad del ecosistema científico-productivo. No existe otro ejemplo comparable al estado de San Pablo en toda América Latina.

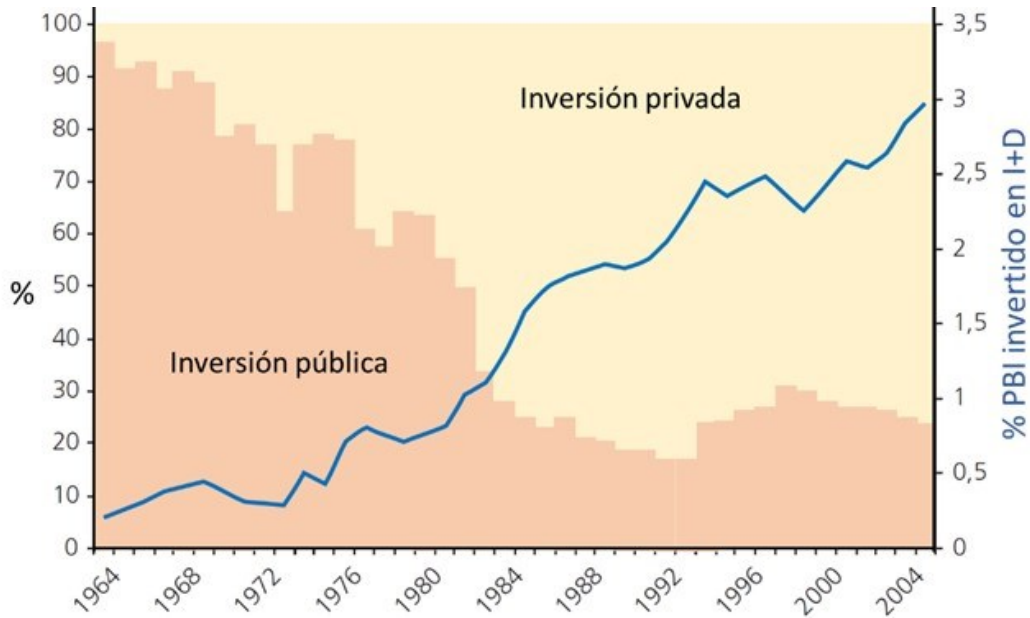


Figura 11. Inversión en I+D de Corea del Sur desde 1964 hasta 2004, desglosada entre la contribución pública y privada. Adaptado de J. Suh & D. H. C. Chen, “Corea Como Una Economía Del Conocimiento. Proceso Evolutivo Y Enseñanzas”, Banco Mundial en coedición con Mayol Ediciones S.A., Washington, 2008.

En Argentina, se mantiene un sistema universitario y científico con nivel de excelencia en numerosas áreas. Sin embargo, su competitividad internacional está limitada por deficiencias organizativas y presupuestarias. Asimismo, la inexistencia de instituciones intermedias estables, bien organizadas y financiadas, mantiene a la investigación científica desacoplada de una potencial innovación industrial (Capítulo 4).

A lo largo de la historia, el desarrollo del sector científico-tecnológico argentino ha sido obstaculizado por períodos de fuerte desfinanciamiento en prácticamente todas las instituciones del sistema científico argentino. Esto ha quebrado la transmisión de conocimiento y ha imposibilitado su desarrollo acorde a las exigencias de la innovación industrial contemporánea.

Los instrumentos de fomento financieros y fiscales a la inversión privada en I+D suelen ser nulos o ineficientes. Cuando existen, se aplican con procedimientos lentos, burocráticos y con magnitud de inversión insuficiente. En general son aprovechados por un grupo selecto de empresas ya establecidas para reducir los costos de proyectos que harían de todos modos; es decir, no se traccionan nuevas iniciativas ni innovación.

En resumen, la discontinuidad en las actividades de investigación científica, la falta de fomentos efectivos a la inversión y la inexistencia de instituciones intermedias de innovación, desalienta la inversión privada, que ocurre únicamente en pocas empresas especializadas, o de manera temporal. Especialmente en países rezagados como Argentina, las industrias requieren de apoyo, seguimiento y entrenamiento para transformarse e innovar a nivel internacional.

[1] <http://web.mit.edu/facts/finacial.html>

[2] University of California, Budget for Current Operations, Summary and Details 2016-17.
<http://www.ucop.edu/operating-budget/files/rbudget/2016-17budgetforcurrentoperations.pdf>

[3] <https://www.mpg.de/facts-and-figures>

[4] <http://www.cnrs.fr/en/science-news/docs/RA2016-en.pdf>

[5] http://www.fapesp.br/en/publications/2015_report.pdf (pág. 20)

[6] Deloitte. Survey of Global Investment and Innovation Incentives, 2017.

<https://www2.deloitte.com/global/en/pages/tax/articles/global-investment-and-innovation-incentives-survey.html>

Capítulo 6

Características de una inversión competitiva en I+D

A partir del análisis estadístico e histórico de las inversiones en I+D realizadas por distintos países y sus consecuencias en el PBI per cápita (Capítulos 2 y 5), así como de las consideraciones sobre los mecanismos y tiempos característicos de las actividades de I+D (Capítulos 3 y 4), es posible definir los rasgos básicos de una inversión en I+D para que sea competitiva internacionalmente e impacte de manera positiva en la economía.

Continuidad. En primer lugar, la inversión en I+D debe ser sostenida en el tiempo. La generación de conocimiento es un proceso continuo. Los avances en I+D se basan unos en otros, incluso entre disciplinas distintas. Es necesario asegurar la transmisión de conocimiento de generación en generación para mantener las actividades de I+D en las fronteras de lo conocido, esto vale incluso a nivel local (empresarial) para desarrollos propios. Si un proceso de I+D se interrumpe, no sólo se pierden los posibles beneficios futuros fruto del nuevo conocimiento o tecnología, sino que se desperdicia la inversión realizada ya que I+D similar se terminará produciendo en otro lugar.

Magnitud. En toda actividad económica existe un umbral que la inversión debe superar para obtener un balance positivo. Determinar este nivel de inversión, denominado punto muerto, umbral de rentabilidad o break-even point, es un concepto elemental en cualquier negocio.

Lógicamente, la inversión realizada por un país en I+D también debe tener la magnitud correcta para contribuir positivamente al PBI. En vista de las estrategias y resultados obtenidos por los países desarrollados, se pueden establecer que la magnitud de la inversión total en I+D debe estar entre 1,5 % y 4 % del PBI.

Tasa de crecimiento. Finalmente, es importante advertir que los países desarrollados incrementan su inversión total en I+D a un ritmo promedio de 0,03 %PBI/año. Esta tasa de crecimiento promedio aparece como la necesaria para sostener la competitividad internacional en el mundo actual donde los mercados de productos y servicios de alto contenido tecnológico son los que más crecen.

Perspectivas de aumento del financiamiento en I+D en Argentina.

Los datos y las proyecciones de la Figura 8 son contundentes y preocupantes. La brecha tecnológica con los países desarrollados se ha venido incrementando desde hace décadas. La competitividad y la capacidad de crecimiento económico sustentable de Argentina están seriamente comprometidas. Para dejar de ser un país rezagado y comenzar un sendero de desarrollo Argentina necesita un cambio de rumbo cualitativo en términos de inversión en I+D. Si bien no existe aún un proyecto claro de desarrollo, la necesidad de este

cambio de paradigma está comenzando a reconocerse en la sociedad. Una evidencia de esto han sido las promesas de campaña de los dos candidatos presidenciales finalistas. Scioli prometió incrementar la inversión en I+D al 1% del PBI, mientras que el presidente Macri expresó que su gobierno llevaría la inversión en I+D al 1,5% del PBI.

Otro signo de que la sociedad argentina está madurando este cambio de paradigma es la existencia de varios proyectos de ley en el Congreso Nacional que plantean pautas para incrementar la inversión en I+D. Al igual que en la elección presidencial, el proyecto que más consenso ha obtenido hasta el momento es el que propone la mayor inversión en ciencia y tecnología. El Senador Nacional por la Provincia de Santa Fe Omar Perotti, durante su gestión como Presidente de la Comisión de Ciencia y Tecnología del

Honorable Senado de la Nación, presentó un proyecto de ley que propone el incremento gradual y sostenido de la partida presupuestaria dedicada a la función “Ciencia y Técnica”, llevándola desde un 0,8 % del PBI en 2018, hasta el 3% del PBI en 2030. El Senado otorgó a este proyecto su media sanción el 23/08/2017; actualmente se encuentra en la Cámara de Diputados para su tratamiento.

Este planeamiento presupuestario simple y progresivo tiene como objetivo principal “garantizar una inversión pública sostenida en el tiempo para la función Ciencia y Técnica que impulse la promoción de la inversión privada”. Una ley de este tipo sería brindaría la previsibilidad presupuestaria necesaria para establecer una política de Estado en I+D trascendente a múltiples períodos presidenciales.

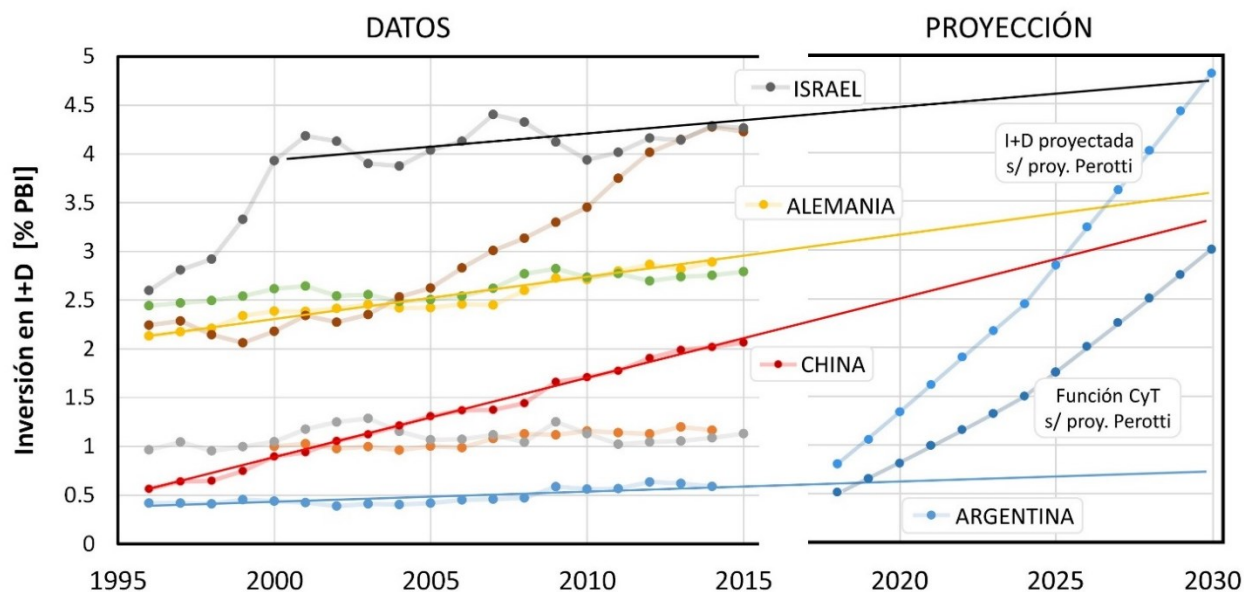


Figura 12. Evolución de la inversión en I+D expresada en porcentaje del PBI para 8 países de referencia. Fuente: UNESCO <http://data.uis.unesco.org/>. Proyecciones lineales a 2030 para Israel, Alemania, China y Argentina. Para Argentina se muestra además la propuesta de inversión en la función “Ciencia y Técnica” según el proyecto de ley del Senador Perotti, y la proyección correspondiente de inversión total en I+D.

Actualmente, la función “ciencia y Técnica” del presupuesto nacional equivale a un 0,4 % del PBI, mientras que la inversión total en I+D suma un 0,6 % del PBI. De mantenerse esta relación en el tiempo, el proyecto del Senador Perotti apunta a alcanzar una inversión total en I+D de 4,5 % del PBI en 2030, un valor comparable a la proyección para Israel en ese año.

La Figura 12 muestra gráficamente esta propuesta de inversión en la función “Ciencia y Técnica”, y la proyección correspondiente para la inversión total en I+D. Un aumento de la inversión en I+D de estas características tendría la magnitud necesaria para impulsar un cambio de paradigma científico-económico. Permitiría alcanzar y en algunos casos superar los niveles de inversión en I+D de los países desarrollados. Como antecedente histórico, el único país que aplicó incrementos tan rápidos de la inversión en I+D ha sido Israel.

¿Es viable un aumento de la inversión estatal en I+D de esta magnitud?

Esta pregunta debe desglosarse en dos: i) ¿cuenta Argentina con los recursos económicos necesarios?, y ii) ¿es capaz de ejecutar una inversión de esa magnitud en los plazos planteados?

Para responder la primera pregunta es de nuevo relevante hacer un análisis comparativo entre países, en este caso del gasto gubernamental total. La Figura 13 muestra la evolución del gasto total del gobierno nacional, expresado como % del PBI, para los mismos países de referencia, más el promedio de la Unión Europea. Como

puede verse, existe cierta dispersión, demostrando distintas estrategias de inversión estatal. Lo más relevante para nuestro análisis es que no existe correlación entre el grado de desarrollo y el gasto gubernamental de los países. Esto queda evidenciado por ejemplo en los niveles de gasto gubernamental de Israel y Corea del Sur, dos países que se han desarrollado en el último medio siglo. Israel tiene un gasto público considerablemente mayor que el de Argentina, y lo viene reduciendo gradualmente. Corea del Sur, en cambio, tiene un gasto público menor que Argentina, pero lo viene aumentando sistemáticamente.

Actualmente Argentina se encuentra dentro de los márgenes de dispersión observados tanto dentro del universo de países desarrollados como de los rezagados. En este contexto, aumentar el gasto público entre 2 y 4 puntos del PBI para realizar inversiones en I+D que impulsen el desarrollo y un crecimiento económico sustentable en el largo plazo es una opción viable. Pero no es la única estrategia posible.

Consideremos por ejemplo la inversión estatal propuesta como punto de partida en el proyecto del Senador Perotti. Tomando como referencia el PBI de 2017, la inversión inicial necesaria sería de 2.695 millones de USD, lo cual significaría un aumento de la función Ciencia y Técnica de 860 millones de USD, aproximadamente. Argentina tiene la capacidad de asignar estos recursos a I+D sin mayores inconvenientes, si se estableciera con seriedad esa prioridad. Esto se ilustra a continuación con algunos ejemplos de dónde pueden obtenerse los recursos necesarios.

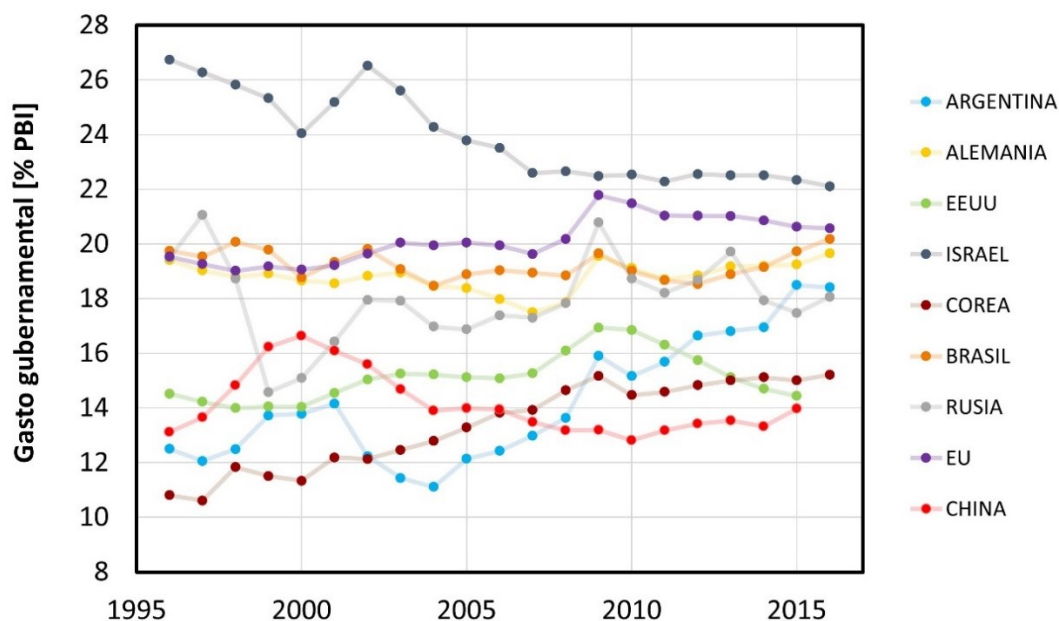


Figura 13. Gasto total del gobierno central expresado como porcentaje del PBI los mismos países de referencia usados en las Figuras 8, 9 y 12, más el promedio de la Unión Europea (EU). Datos: Banco Mundial <http://data.worldbank.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>

En 2016, según el Centro de Economía Política [1], el giro de divisas al extranjero ascendió a 11.966 millones de USD), es decir 4 veces la inversión total planteada para la función Ciencia y Técnica, o 12 veces el aumento planteado. Parte de este capital puede atraerse mediante instrumentos adecuados de fomento a la inversión privada en I+D.

El saldo de LEBACs a Agosto de 2017 superaba el billón de AR\$, a una tasa de 26% anual [2]. El pago de intereses por ese período fue de aproximadamente 14.000 millones de USD, es decir 5 veces la inversión inicial total en Ciencia y Técnica planteada por el proyecto de Perotti, o 16 veces el aumento necesario.

La reducción de retenciones a las exportaciones de granos generó en 2017 un

costo fiscal aproximado entre 2.000 y 3.000 millones de USD por año [16].

En 2017 se recompuso a las distribuidoras eléctricas 19.000 millones de AR\$, por supuestas bajas ganancias en años anteriores [3]. Este monto cubre en exceso el aumento necesario para CyT planteado por el proyecto del Senador Perotti para 2018.

Finalmente hay que destacar que en 2017 se blanquearon más de 100.000 millones de USD. Este dinero corresponde a ganancias generadas en Argentina y que no han hecho ningún aporte fiscal. La evasión fiscal sigue siendo un gran problema en Argentina. Cualquier mejora en este sentido conformaría un aporte de magnitudes similares a la inversión necesaria en I+D.

Estos son solo algunos ejemplos, ilustrados en la Figura 14, que demuestran que

Argentina cuenta con los recursos económicos necesarios. Mediante pequeños re-direccionamientos parciales de su capacidad de recaudación Argentina podría

impulsar una estrategia de desarrollo basada en I+D, con inversiones proporcionalmente comparables a las de los países desarrollados.

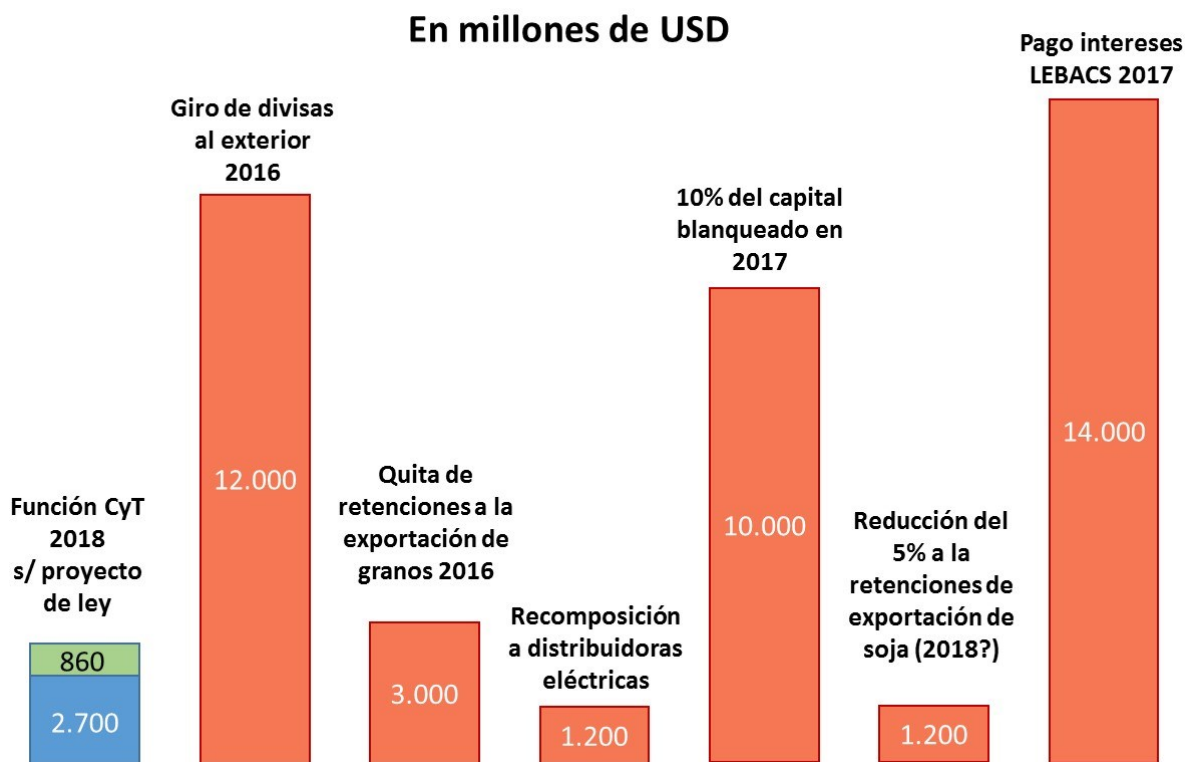


Figura 14. Comparación del monto destinado a la función Ciencia y Técnica en 2018 según el Proyecto de Ley aprobado con media sanción en el Senado, con respecto a otros gastos del gobierno nacional.

Responder con precisión la segunda parte de la pregunta es prácticamente imposible porque Argentina jamás intentó un desarrollo un proceso de estas características. Argentina cuenta con un sistema científico que ha sido reactivado, pero que se encuentra sometido a un proceso de retracción importante. Cuánto antes se revierta la tendencia actual de

desfinanciamiento, más favorable será el punto de inicio.

Es posible identificar algunas falencias que tienen la gestión pública y el sistema científico tecnológico actual que actuarían como cuellos de botella para incrementar las actividades de I+D e innovación industrial.

El primer factor limitante serían los recursos humanos. Como se vio en la Figura 9, Argentina tiene una densidad de personal en I+D cuatro veces inferior a la de los países desarrollados, y 7 veces inferior a la de Corea del Sur o Israel. En muchas áreas no se cuenta con la masa crítica necesaria de personal especializado. Formar localmente estos recursos demora años. Si bien podrían generarse condiciones para atraer talentos del extranjero, como hacen los países desarrollados, nuestra gestión pública no tiene experiencia en este sentido, ni cuenta con los resortes administrativos para hacerlo ágilmente.

En segundo lugar, sería necesario crear instituciones intermedias de innovación industrial (capítulo 4) o reformular instituciones existentes para que cumplan ese rol de manera competitiva a nivel internacional. Argentina tiene poca experiencia en este sentido, y la reorganización de instituciones estatales no suele ser rápida. En relación al punto anterior, el personal especializado que combine las capacidades científico-tecnológicas, ingenieriles y de comercialización es difícil de conseguir y formar.

Pero no es necesario comenzar de cero. Argentina cuenta con numerosas incubadoras pequeñas para proyectos de innovación. Además, el MINCYT ha impulsado esfuerzos incipientes o redes en innovación industrial, como son las de Bioeconomías Regionales, lo relacionado al Litio en Jujuy, a Medicina Traslacional en Bariloche. La magnitud y el impacto de estas iniciativas ha sido menor.

En términos de instituciones, Argentina cuenta con una algunas asignadas a apoyar tecnológicamente a sectores industriales, como el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) o el más reciente Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). Hay que notar que el INTI y el INTA fueron creados a fines de la década de 1950, y el INIDEP a fines de los 1970, y no fueron concebidos como centros de innovación que evaluaran tecnologías con alto potencial económico para el futuro. Estas instituciones brindan un valioso apoyo a nuestra industria pero enfocados en el aprovechamiento de tecnologías existentes. Esto constituye el primer paso en el proceso de innovación: aplicar y comprender en profundidad las tecnologías actuales (capítulo 3). Nuestro país se encuentra en la mayoría de los sectores industriales en este estadio, con distintos grados de retraso con respecto a las tecnologías de punta.

Otra experiencia importante es la de INVAP. Fundada en 1976 con un convenio entre el Gobierno de la provincia de Río Negro y la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina, se ha desarrollado de manera suficientemente estable para dominar varias tecnologías. Alrededor de los grandes proyectos de INVAP se conformaron entramados tecnológico-productivos de las industrias nucleares y satelital. Estos entramados productivos con alto valor agregado habían dominio suficiente de las tecnologías actuales como para comenzar a innovar (segundo estadio en el proceso de innovación, capítulo 3). Hoy su continuidad está seriamente comprometida debido al

desfinanciamiento, despido de personal altamente calificado, y reemplazo de contratos con el Estado para desarrollos locales por importación de tecnología.

Finalmente, hay que mencionar el caso de YPF Tecnología (Y-TEC), una empresa de mayoría estatal que pertenece en 51% a YPF, la compañía de energía más grande de la Argentina, y en un 49% al CONICET, el principal organismo de investigación científica en el país. Su misión consiste en generar soluciones tecnológicas para el desarrollo energético. YTEC puede considerarse una institución intermedia de innovación industrial para el sector energético, con sus actividades fuertemente enfocadas en la industria petrolera. No es

exactamente el tipo de instituciones que se describen en el capítulo 4, ya que la pertenencia a YPF va en detrimento de la interacción con otras empresas competidoras. En consecuencia, no contribuye tanto a fomentar la inversión privada en innovación en el sector. Aunque esto puede considerarse una decisión estratégica.

En resumen, al contrario de lo que se suele considerar, el desafío principal que Argentina debería enfrentar si decidiera seriamente encarar un proceso de expansión económica en base a I+D no es económico-financiero, sino de recursos humanos, planeamiento y gestión.

[1] <http://centrocepa.com.ar/>

[2] <http://www.bcra.gob.ar/Pdfs/PublicacionesEstadisticas/infomondiae.pdf>

[3] <http://www.ambito.com/862297-condonan-19000-m-a-electricas-aunque-las-tarifas-ya-subieron>

Capítulo 7

Conclusiones y recomendaciones para el futuro.

El contenido tecnológico de los productos y servicios se incrementa continua y rápidamente. Para garantizar un crecimiento económico sustentable, los gobiernos de los países más desarrollados, en distintas partes del planeta, impulsan la inversión en investigaciones científicas y desarrollos tecnológicos (I+D). Están embarcados en una carrera muy competitiva por convertir hallazgos científicos en nuevas tecnologías y productos con alto potencial comercial.

Por el contrario, los niveles de inversión en I+D en Argentina han sido históricamente demasiado bajos, tanto desde el sector público como del privado. Los sectores de base tecnológica comprenden una fracción pequeña de nuestra economía. Esta estrategia ha limitado nuestra capacidad de crecimiento económico y pone en serio riesgo las posibilidades de competir a futuro en una economía global cada vez más basada en el conocimiento. Argentina necesita enfrentar esta situación manera urgente para equilibrar su economía y no anular sus chances de prosperidad en el futuro cercano.

Los países que obtienen mayores incrementos de sus PBI per cápita invierten entre 1,5 % y 4 % de sus PBI en I+D. Asimismo, aumentan su inversión a una tasa de entre 0,02 y 0,04 % PBI /año. Esta combinación de magnitud y tasa de

crecimiento de las inversiones en I+D aparece como la necesaria para mantener la competitividad internacional en el mundo actual.

Los países que se han desarrollado recientemente han aplicado políticas de Estado en I+D de modo consistente durante décadas. Para alcanzar los niveles competitivos internacionalmente incrementaron su inversión en I+D con tasas entre 2 y 10 veces mayores a las que aplican los países desarrollados. Por ejemplo Corea del Sur, entre 1964 y 1994 incrementó su inversión en I+D con una tasa promedio de 0,07 % PBI/año. Israel por su parte ha aplicado tasas de incremento de hasta 0,3% PBI/año a comienzos de los 1990.

Argentina invierte en la actualidad 0,6 % de su PBI en I+D, es decir entre 5 y 7 veces menos que los países desarrollados. En términos absolutos, Argentina invierte per cápita entre 10 y 14 veces menos que los países desarrollados. Desde 1996 a la fecha, Argentina viene aumentando su inversión en I+D a una tasa promedio de 0,01 %PBI/año, es decir a un ritmo 3 veces inferior al promedio de los países desarrollados. En resumen, Argentina no solo invierte mucho menos, sino que aumenta su inversión a un ritmo menor que los países desarrollados. Año tras año se incrementa la brecha tecnológica y disminuyen sus posibilidades de competir a nivel global. El Gobierno debería reconocer la urgente necesidad de un cambio de paradigma para competir en los mercados mundiales y establecer un

compromiso de largo plazo para aplicar las inversiones necesarias en I+D.

Encarar un proceso de desarrollo requiere incrementar la inversión en I+D a tasas de entre 0,06 y 0,3 %PBI/año, por un cierto período de tiempo hasta alcanzar un nivel óptimo, para luego sostenerla a una tasa de crecimiento competitiva internacionalmente (en la actualidad 0,02 a 0,04 %PBI/año). No se puede invertir en innovación a un ritmo menor, porque si no se llega tarde. La innovación industrial es una carrera global. La única excepción para algún nicho de actividades donde la Argentina tuviera exclusividad o una ventaja geopolítica extraordinaria.

A contrario de lo que se suele creer, Argentina cuenta con los recursos económicos para solventar esta inversión. El desafío principal no es económico-financiero sino de planificación y gestión.

Una ley de planificación presupuestaria sería una herramienta importante en nuestro país, ya que brindaría el marco de trabajo necesario para establecer políticas de Estado que trasciendan varios períodos presidenciales. Esta continuidad es clave para cualquier política de I+D.

Actualmente se están tratando varios proyectos de ley en el Congreso Nacional destinados a planificar una inversión sostenida en I+D. Uno de ellos ha conseguido media sanción del Senado. Se trata del proyecto del Senador Perotti, el cual plantea un incremento sostenido de la inversión pública en I+D hasta 2030, que impulsaría la inversión total en I+D a crecer una tasa aproximada de 0,30 % PBI/año. Esta tasa es de las más altas registradas en

la historia, comparable a la aplicada por Israel en la década de 1990. A primera vista, un incremento en la inversión de estas características puede parecer demasiado ambicioso, pero es necesario comprender que el mundo de hoy no es el de 1990. La carrera internacional por la innovación se ha vuelto mucho más competitiva, y el retraso científico tecnológico acumulado por Argentina se ha incrementado notablemente desde entonces. En este contexto, el proyecto apunta a revertir esta debilidad argentina en el mundo actual y futuro.

El compromiso estatal de largo plazo es esencial por dos motivos principales. Por un lado, los procesos de aprendizaje e innovación tecnológica requieren tiempos del orden de lustros o décadas. Por otro lado, las políticas públicas estables en I+D proveen la confianza necesaria para atraer los talentos adecuados y asegurar que las empresas inviertan en sí mismas.

Es importante comprender los estadios que debe atravesar un sistema científico-tecnológico atrasado como el nuestro para alcanzar la capacidad de innovar competitivamente. Primero es necesario aplicar las tecnologías existentes y dominarlas en profundidad, para luego poder innovar. Si además se mantiene con continuidad una actividad competitiva internacionalmente en I+D, se obtiene acceso a la participación de futuras revoluciones tecnológicas.

Hoy en día, para maximizar la eficiencia, la innovación industrial se planifica a nivel global (país, regiones, rubros) y al nivel de proyectos individuales considerando todas

las etapas del ciclo, desde el hallazgo científico hasta un nuevo producto o servicio. Se trata de una actividad de cierto riesgo, una apuesta a mercados económicos futuros. Por este motivo la inversión en cada proyecto individual se regula monitoreando la madurez tecnológica, las posibilidades de fabricación y comercialización, y las oportunidades de mercado.

Del incremento en la inversión en I+D que debe aplicar Argentina, la parte mayoritaria debe destinarse a las instituciones y empresas que impulsen la innovación en vínculo con las industrias.

Por un lado, las instituciones y grandes empresas de participación pública que impulsan y acompañan a las industrias locales a asimilar tecnología de punta, por ejemplo el INTI, INTA, INIDEP, INVAP, Y-TEC, deben ser fortalecidas y/o actualizadas, y su funcionamiento a niveles competitivos internacionalmente debe ser garantizado. Esto es clave para completar el ciclo de aprendizaje, la asimilación de tecnologías existentes en todos los sectores industriales.

Por otro lado, centros de elite de innovación industrial deben crearse en el territorio y enfocarse en áreas clave, donde las nuevas tecnologías más promisorias para generar ventajas comerciales para Argentina en el futuro, con visión de 10 a 20 años, puedan explorarse y desarrollarse en cooperación con industrias y grandes empresas locales. Es recomendable que estos centros de innovación sean creados dentro del ámbito de instituciones intermedias existentes, como las arriba mencionadas.

En su primer ciclo, el MINCYT ha cumplido un importante rol en este sentido

trabajando con redes virtuales, vinculando sectores científicos y productivos. Este enfoque fue de rápida implementación, no requirió de grandes inversiones y permitió reconocer fortalezas e identificar debilidades. En una siguiente etapa que apunte a instituir una política científico-tecnológica de Estado con estabilidad, previsibilidad, y sobre todo con impacto económico, es necesario establecer centros con infraestructura acorde a los objetivos y capacidad de expansión, dedicados a la investigación básica y a la innovación industrial en cada una de las áreas estratégicas para el desarrollo.

Algunas posibles áreas son:

- Investigación y explotación sustentable del mar argentino (Proyecto Pampa Azul)
- Biotecnología vegetal y animal
- Petróleo y energías renovables
- Nuevas bioeconomías (biocombustibles, biomateriales, biofármacos, etc.)
- Tecnología nuclear
- Industria y aplicaciones satelital
- Medicina personalizada
- Extracción e industria del Litio

Los centros de innovación industrial deberán estar distribuidos en el territorio nacional, si es oportuno, de acuerdo a ventajas locales en la temática, y contar con la capacidad de formar y atraer desde otras regiones o países a los talentos necesarios. Cada centro deberá estar vinculado desde sus inicios con empresas locales, públicas o privadas, ya existentes o generadas ad-hoc, y ejecutar

programas de innovación competitivos a nivel regional e internacional.

Su misión será promover una infraestructura industrial robusta, competitiva y sostenible, expandiendo las capacidades de innovación de industrias en áreas específicas, reduciendo los riesgos. Su objetivo será el de impulsar el crecimiento económico futuro. Para ello deberán:

- i) mantener personal científico-técnico especializado en las áreas competentes a la rama industrial correspondiente.
- ii) mantener personal especializado en el monitoreo de desarrollos tecnológicos, fabricación, procesos, mercadeo, comercialización, propiedad intelectual, cadenas de distribución y logística, financiación, inversión y captación de capitales de riesgo.
- ii) mantener infraestructura y equipamiento en de última generación en las tecnologías relevantes.
- iii) explorar posibles nuevas tecnologías que tengan importante potencial comercial a futuro con ventajas para el país
- iv) desarrollar tecnologías seleccionadas en conjunto con las empresas, acompañándolas durante el proceso.
- v) actuar como proveedores de I+D a empresas e industrias a través de contratos temporarios.

Su funcionamiento debe ser independiente de cualquier empresa particular, y actuar en base a contratos y proyectos individuales. Esto es clave para no desmotivar la interacción con empresas por razones de

competencia o confidencialidad. Los procesos de gestión deberán ser ágiles. El objetivo es que las empresas logren avanzar más rápido y eficientemente cuando lo hagan en cooperación con los nuevos centros de innovación industrial, que si lo hicieran por su cuenta.

Como complemento indispensable, parte del incremento de la inversión en I+D debe destinarse a financiar estímulos a la inversión privada en I+D. Es esencial que estos estímulos se ofrezcan en un amplio menú de instrumentos, de modo que cada rama industrial encuentre una posibilidad adecuada. Su aplicación debe ser ágil y efectiva para traccionar nuevos emprendimientos.

Finalmente, otra fracción menor de la inversión pública en I+D debe destinarse a sostener y mejorar el sistema de investigación científica, manteniendo instituciones, infraestructura y programas de investigación básica de excelencia. Éste es el primer eslabón de la cadena de innovación. Su función es la de mantener y formar recursos humanos en la frontera del conocimiento. Los recursos humanos formados servirán en los institutos de innovación y en las nuevas actividades industriales generadas. Es de vital importancia mantener investigación básica en un amplio espectro de disciplinas para garantizar la sustentabilidad en el largo plazo. Nuevas problemáticas, áreas estratégicas, y oportunidades comerciales aparecerán en el futuro y es necesario tener la capacidad de reaccionar rápidamente. Asimismo, todas las actividades en investigación científica sirven de retroalimentación positiva a las actividades

centrales de desarrollo tecnológico, y viceversa.

De este modo se cierra el ciclo completo de innovación industrial, desde el hallazgo científico hasta la innovación industrial. Sólo de este modo es esperable que la ciencia impacte positivamente en la economía. Si no se comprende esto, todo esfuerzo queda inconcluso, en términos económicos.

En el mundo actual, donde los cambios tecnológicos ocurren cada vez con mayor velocidad, es necesario evaluar y adaptar la estrategia periódicamente. Pero es importante tener en cuenta los tiempos característicos de la investigación y la innovación. A veces se cree que si un emprendimiento tecnológico es exitoso, en 5 años la industria lo asimilará y lo desarrollará por sí misma. La innovación industrial sustentable no funciona de ese modo. Es un problema de frontera móvil, donde las oportunidades a futuro cambian constantemente. La clave es la continuidad. Es de suma importancia tener esto en cuenta sobre todo en nuestro país que debe encarar este proceso desde base cero, prácticamente. Sumado a la incertidumbre natural del proceso de innovación, aparecerán inconvenientes y obstáculos de gestión, como en cualquier actividad que se realiza por primera vez. Pero en la continuidad está la clave del éxito.

Argentina tiene toda la capacidad para encarar un proceso de desarrollo, con importantes ventajas comparativas con otros países del mundo y de la región:

- Genera los recursos económicos para invertir en I+D a los niveles necesarios.

- Posee recursos naturales estratégicos, incluido el territorio apto para agricultura y ganadería.

- Su sistema científico-tecnológico ha sido recientemente revitalizado y cuenta con referentes del más alto nivel internacional en un amplio espectro de disciplinas. Existen instituciones y empresas que trabajan con tecnología de punta para algunos sectores industriales.

Entre las dificultades previstas, la más importante es la baja densidad de recursos humanos especializados en I+D. La formación o atracción de recursos humanos suele ser el cuello de botella en procesos de desarrollo. Formar un científico o un especialista tecnológico demora mínimo 8 – 10 años. Por supuesto que es posible atraer talentos del extranjero, como hacen otros países para sostener su ritmo de avance tecnológico, pero Argentina no tiene experiencia en este sentido.

Los ciclos de innovación tecnológica, así como los de las revoluciones tecnológicas, se aceleran. Esto hace urgente la transformación de la economía argentina hacia una con mayor componente tecnológica. La prosperidad y sustentabilidad a futuro dependen de eso. Asimismo, es esperable que si Argentina encara seriamente un proceso de desarrollo basado en I+D, pueda comenzar a participar significativamente de mercados de base tecnológica con alto valor agregado en un plazo de 10 a 20 años.

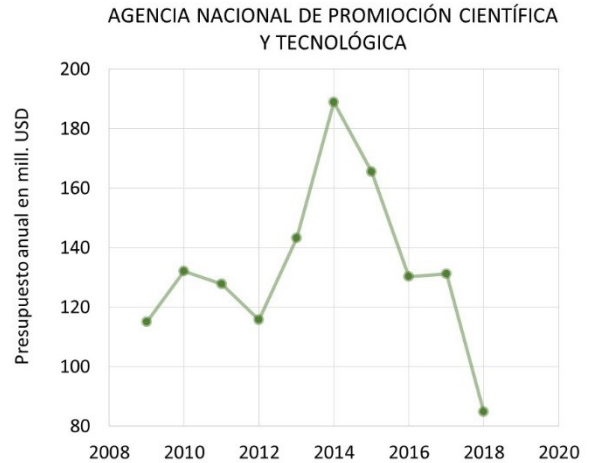
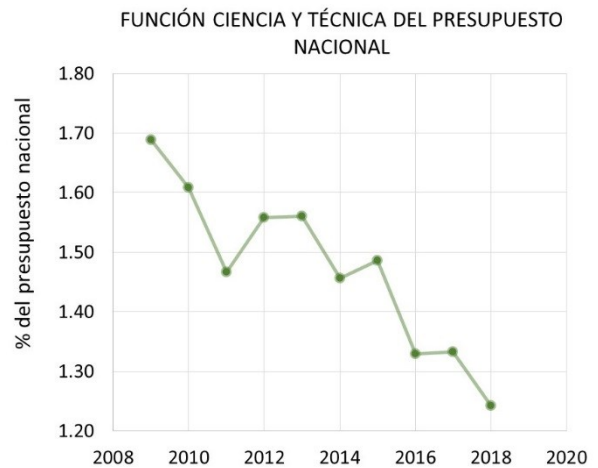
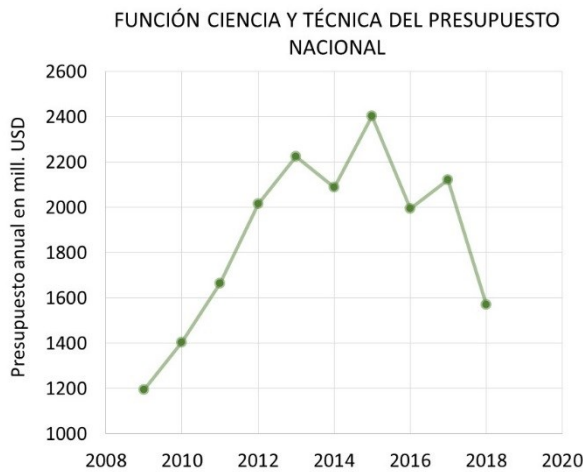
Agradecimientos

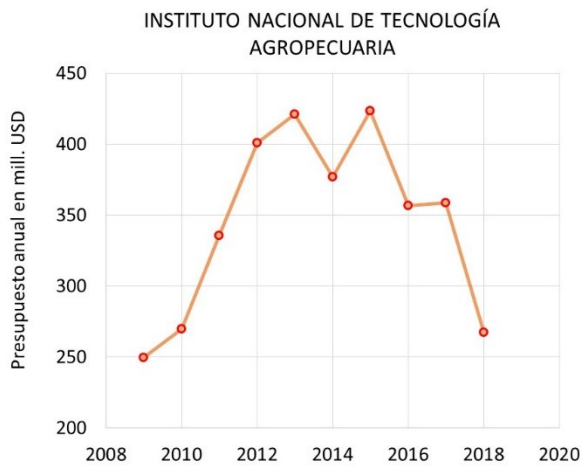
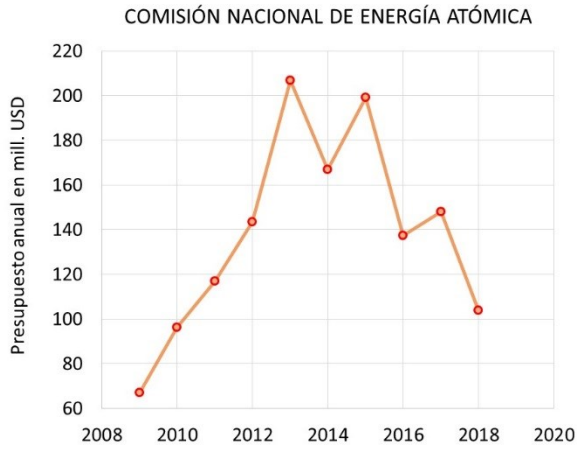
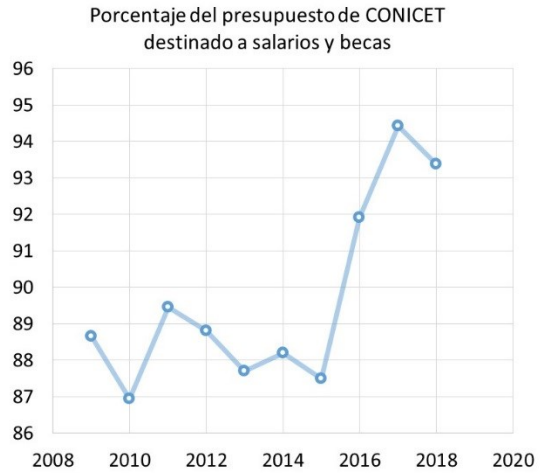
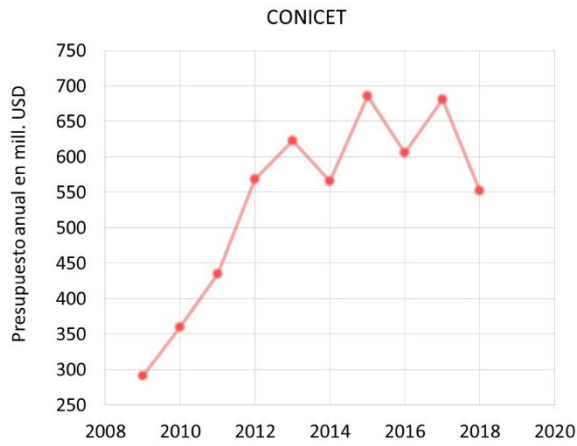
Para la confección de este reporte conté con el valioso aporte de muchas personas a través de correspondencia y discusiones personales, me brindaron información o me impulsaron a la reflexión. Quiero agradecer en especial a Rodolfo Acosta, Angelina Almeida, Prof. Dr. Jorge Aliaga, Prof. Dr. Pedro Aramendía, Prof. Dr. Carlos Balseiro, Prof. Dr. Lino Barañao, Prof. Dra. Andrea Bragas, Prof. Dra. Silvia Braslavski, Prof. Dr. Alfredo Cáceres, Prof. Dr. Alejandro Ceccatto, Prof. Dr. Eduardo N. Dvorkin, Prof. Dr. Alejandro Fainstein, Prof. Dra. Andrea Gamarnik, María Candelaria González del Pino, Prof. Dr. Andrés Kreiner, Facundo Lagunas, Prof. Dr. Alejandro Mentaberry, Dra. María Luz Martirena, Prof. Dr. Juan Pablo Paz, Prof. Dr. Fernando Peirano, Prof. Dra. Lía Pietrasanta, Dr. Damián Refojo, Prof. Dr. Roberto Salvarezza, Prof. Dr. Galo Soler-Illia, Juan Carlos Soria, Prof. Dr. Alejandro Vila.

Anexo

Evolución presupuestaria 2009 – 2018 de la función Ciencia y Técnica del presupuesto nacional, y de las principales instituciones del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.

Aclaraciones: El tipo de cambio AR\$/USD para 2018 es el promedio a Agosto. El Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva fue reducido a una Secretaría del Ministerio de Educación el día 3 de Septiembre de 2018.







Fuentes

Presupuestos en AR\$:

Ministerio de Hacienda <https://www.presupuestoabierto.gob.ar/sici/>

Tipo de cambio AR\$/USD anual promedio:

Banco Central de la República Argentina – planilla A3500

www.bcra.gov.ar/Pdfs/PublicacionesEstadisticas/com3500.xls